RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE LA MAURICIE ET
DU CENTRE-DU-QUÉBEC

DIRECTION [illegible]

BASES DE PLANIFICATION DU PMUNE-G2 EN MATIÈRE DE SCÉNARIOS D'ACCIDENT DE NIVEAUX D'INTERVENTION POUR LES MESURES DE PROTECTION ET DE ZONE DE PLANIFICATION D'URGENCE POUR L'EXPOSITION AU PANACHE (ZPU-P)

Révision réalisée dans le cadre des travaux du
COMITÉ SUR LES MESURES D'URGENCE NUCLÉAIRE (COMUN)

par
Gilles W. Grenier, m.d.

Juin 2002

106-04121/

Remerciements

La production du présent document a été rendue possible grâce à la participation des membres des organisations suivantes :

- *Hydro-Québec Gentilly-2*
- *Comité opérationnel des mesures d'urgence nucléaire (COMUN)*
- *Équipe santé et environnement, Régie régionale de la Mauricie et du Centre-du-Québec*

Rédaction : Gilles W. Grenier, médecin-conseil

Collaboration à la rédaction : Nadine Tremblay,
Agente de planification et de programmation sociosanitaire

Correction et mise en page : Françoise Déry, secrétaire

Dépôt légal – 2ème trimestre 2002
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN : 2-89340-070-1

Régie régionale de la santé et des services sociaux de la
Mauricie et du Centre-du-Québec

SOMMAIRE

SYNTHÈSE DES BASES DE PLANIFICATION

1 Scénarios d'accident limite retenus pour le PMUNE-G2

Considérant :

i les recommandations des organismes de radioprotection internationaux et de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (2002) de prévoir une planification d'urgence pour faire face à tout accident de dimensionnement[1] (défaillance simple ou double) sur la base d'une analyse spécifique à chaque centrale, position déjà retenue dans le Document de référence du PMUNE-G2 en 1996 ;

ii les recommandations des organismes de radioprotection internationaux et de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (2002) de tenir compte des accidents sévères (perte d'intégrité du cœur du réacteur et relâche importante de matières radioactives à l'environnement) dans la planification d'urgence[2] ;

iii que des événements autres que des défaillances technologiques peuvent causer des accidents avec rejets de matières radioactives dans une centrale nucléaire (erreurs humaines, terrorisme, etc.), ce qui nous incite à rejeter toute approche probabiliste stricte qui limiterait la planification d'urgence pour les scénarios d'accident sévères.

Le PMUNE-G2 devra permettre de protéger la population face au pire scénario d'accident de dimensionnement analysé dans le rapport de sûreté de la centrale Gentilly-2 et au pire accident sévère calculé pour cette même centrale.

2 Paramètres de calcul de doses pour les accidents de dimensionnement

Considérant :

i que les accidents de dimensionnement, bien que de faible probabilité, sont les plus susceptibles de se produire ;

ii la position de la direction de santé publique, dans la planification d'urgence régionale pour d'autres risques industriels, d'utiliser pour les scénarios correspondant aux accidents de dimensionnement des paramètres de calcul maximisant la dose à la population (individu critique et conditions météo limites) ;

iii que les enfants constituent le groupe le plus sensible aux effets néfastes de l'exposition aux matières radioactives, ce qui a été confirmé par les résultats des études épidémiologiques suite à l'accident de Tchernobyl.

---

1. Au Canada, la CCSN exige que les accidents soient analysés dans des rapports de sûreté produits périodiquement par les exploitants de centrales selon des normes strictes.

2. Le concepteur des réacteurs nucléaires canadiens, EACL, a produit une étude à ce sujet applicable à la centrale Gentilly 2.

Les projections de dose relatives aux accidents de dimensionnement seront basées sur l'individu critique (enfant au centre du nuage) et les conditions météorologiques maximisant la dose reçue (classe F et vitesse de vents à 2 m/s).

3 Paramètres de calcul de doses pour les accidents sévères

Considérant :

i la probabilité très faible de défaillances technologiques menant à un accident sévère[3] et les recommandations internationales et canadiennes à l'effet d'équilibrer le niveau de planification pour les accidents sévères avec leur faible probabilité ;

ii les recommandations internationales, pour cette catégorie d'accident, concernant les paramètres à utiliser pour les calculs des doses (individu moyen, conditions météo) ;

iii que pour la plupart des autres risques technologiques, la planification d'urgence se limite aux scénarios d'accident dits « plausibles » (qui correspondent aux accidents de dimensionnement) sans considérer les scénarios d'accident sévères ;

iv les recommandations de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sur les conditions météo à employer pour l'analyse des accidents sévères ;

Les projections de dose relatives aux accidents sévères seront basées sur l'individu moyen (adulte au centre du nuage) et les conditions météo observées 99% du temps (déterminées à partir de mesures réelles sur plusieurs années).

4 Principes retenus pour établir les niveaux d'intervention

Considérant :

i les critères généralement acceptés au Québec en matière de planification d'urgence (approche risques-bénéfices à la santé) ;

ii la position adoptée antérieurement par le comité de gestion des mesures d'urgence nucléaire à l'effet de baser la définition des niveaux d'intervention sur l'analyse des risques et bénéfices à la santé et non, comme le recommandent certains organismes internationaux et canadiens, sur des études coûts-bénéfices ;

iii les principes de solidarité sociale (la société bénéficiant de l'activité de la centrale nucléaire accepte de protéger la population environnante qui pourrait en subir les risques) et de responsabilité sociale du générateur de risque (mécanismes de compensation par les centrales nucléaires prévus par la CCSN) retenus pour l'ensemble du PMUNE-G2 :

les conséquences reconnues de l'accident de Tchernobyl (cancers de la glande thyroïde chez les enfants).

Les niveaux d'intervention pour les mesures de protection sont définis sur la base des principes suivants :

---

3. Notons que la Commission canadienne de sûreté nucléaire a annoncé au moment du dépôt de ses lignes directrices concernant la préparation aux urgences nucléaires hors-site qu' «*il se peut maintenant qu'il faille les réexaminer à la lumière des événements du 11 septembre 2001 et de l'augmentation des risques d'urgence nucléaire* ». (Correspondance du 3 avril 2002 de M. Ian M. Grant, directeur général de l'évaluation et de l'analyse à la CCSN, p. 2)

- ☑ l'analyse des risques et bénéfices à la santé doit démontrer qu'au niveau où la mesure est appliquée, elle induit plus de bénéfices que de torts ;
- ☑ les mesures de protection doivent éviter que la population ne reçoive une dose plus élevée que le niveau le plus bas où des conséquences sur la santé ont été mesurées suite à l'accident de Tchernobyl.

5 Niveaux d'intervention pour les mesures de protection dans le PMUNE-G2

Considérant :

i la preuve de cancer de la glande thyroïde suite à l'accident de Tchernobyl à partir de la dose de 5 rem (50 mSv) à la thyroïde de l'enfant, ce niveau définissant la dose résiduelle maximale à la thyroïde ;

ii la relation entre la dose à l'organisme entier par rapport à la dose à la thyroïde (facteur d'environ 10) établissant à 500 mrem (5 mSv) la dose résiduelle maximale à l'organisme entier ;

iii qu'aucune des mesures de protection ne génère de risque à la santé supérieur à l'exposition à une dose de 500 mrem (5 mSv) à l'organisme entier ;

iv que le niveau d'intervention pour l'évacuation doit tenir compte d'une réduction moyenne de l'exposition de 50 % par la mise à l'abri.

Les niveaux d'intervention pour les mesures de protection en phase initiale sont les suivants (exprimés en dose à l'individu critique au centre du nuage, intégrée sur la durée de la phase initiale de l'accident[4]) :

- ☑ ***mise à l'abri : 500 mrem (5 mSv) à organisme entier ;[5]***
- ☑ ***évacuation : 1 rem (10 mSv) à l'organisme entier ;***
- ☑ ***prophylaxie à l'iode stable : 5 rem (50 mSv) à la thyroïde.***

6 Critères employés pour définir les limites de la ZPU-P

Considérant :

i qu'une zone de planification d'urgence pour l'exposition au panache doit couvrir la distance où des mesures de protection devraient être implantées advenant tout accident de dimensionnement où les niveaux d'intervention seraient atteints ou dépassés, dans le but de minimiser les effets stochastiques (long terme) et de prévenir tout effet déterministe (effet précoce) ;

ii le niveau d'intervention le plus bas pour les mesures de protection de 500 mrem (5 mSv)au corps entier (ou 5 rem à la glande thyroïde), atteint à 6 km dans le scénario d'accident de dimensionnement limite ;

---

4. La phase initiale de l'accident correspond à la période à partir de la reconnaissance de la possibilité de rejets jusqu'à quelques heures après la fin des rejets (durée totale : de quelques heures à quelques jours), telle que définie par l'AIEA (IAEA, 1985).
5. 500 mrem équivaut à la dose reçue lors d'un examen de l'estomac par radiographie (repas baryté).

iii la position unanime des organismes de radioprotection internationaux et canadiens à l'effet que la zone de planification d'urgence doit couvrir le territoire où pourraient apparaître des effets précoces sévères suite à un accident sévère ;

iv le seuil des effets précoces sévères de 100 rem (1 Sv), atteint à 8 km dans le scénario limite d'accident sévère ;

v la volonté du comité de gestion du PMUNE-G2 de déterminer la ZPU-P selon le critère limite, dans un souci de cohérence et de simplification.

La limite de la zone de planification d'urgence pour l'exposition au panache pour le PMUNE-G2 est définie à la distance la plus éloignée où l'un des critères ci-haut est atteint, soit un rayon minimal de 8 km par rapport à la centrale Gentilly 2.

7 Planification requise dans la ZPU-P

Considérant :

i les objectifs définis par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (ISR, 2002), en concordance avec les recommandations internationales en matière de planification d'urgence dans une ZPU-P ;

ii que la plupart des scénarios d'accident pour lesquels des mesures de protection seraient requises occasionneraient une relâche immédiate de matières radioactives à l'environnement (cinétique rapide).

Les mesures de protection (mise à l'abri, évacuation, prophylaxie à l'iode stable) et les systèmes d'alerte requis pour les rendre applicables doivent être planifiés et prêts à être mise en œuvre rapidement au besoin dans la ZPU-P. La population doit en être informée et les intervenants d'urgence formés à cet effet, et ce, de façon continue.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE : SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS SUR LES BASES DE PLANIFICATION III

INTRODUCTION 1

1 CONTEXTE DE LA RÉVISION 1

SUITES DE TCHERNOBYL 2

2 NOTIONS GÉNÉRALES 2

2.1 ZONE DE PLANIFICATION D'URGENCE 2

2.2 MÉTHODE POUR DÉTERMINER LA ZPU-P 3

2.3 DÉTERMINATION DU RISQUE : LES SCÉNARIOS D'ACCIDENT 4

2.3.1 Gravité des accidents 4

2.3.2 Dynamique des accidents 6

2.4 VOIES D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS 7

2.5 EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR LA SANTÉ 9

2.6 PHASES D'UN ACCIDENT 13

3 CRITÈRES POUR LA DÉFINITION DE LA ZPU-P DANS LE PMUNE G2 14

3.1 DÉFINITION DE ZONE DE PLANIFICATION D'URGENCE (ZPU) 14

3.2 RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES 14

3.2.1 Zone d'action préventive (ZAP) 14

3.2.2 Zone d'action urgente (ZAU) 15

3.3 RECOMMANDATIONS CANADIENNES 15

3.4 MÉTHODE UTILISÉE AUX ÉTATS-UNIS 16

3.5 MÉTHODES UTILISÉES AILLEURS AU CANADA 16

3.5.1 Ontario 16

3.5.2 Nouveau-Brunswick 17

3.6 CRITÈRES RETENUS POUR LE PMUNE G2 17

3.6.1 Concepts de ZAP et de ZAU 17

3.6.2 Critères retenus pour la délimitation de la ZPU-P 17

3.6.3 Nouveaux paramètres pour le calcul de doses 19

4 SCÉNARIOS RETENUS D'ACCIDENT LIMITE 21

4.1 SCÉNARIO D'ACCIDENT DE DIMENSIONNEMENT LIMITE (ADL) 21

4.2 SCÉNARIO D'ACCIDENT SÉVÈRE LIMITE 22

5 NIVEAUX D'INTERVENTION 22

5.1 NIVEAUX D'INTERVENTION EN VIGUEUR JUSQU'À MAINTENANT 23

5.2 RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES ET CANADIENNES RÉCENTES 23
5.3 APPROCHE RETENUE POUR LE PMUNE-G2 26
5.3.1 Principes à la base de notre définition des niveaux d'intervention 26
5.3.2 Aspects risques-bénéfices à la santé et niveau de protection raisonnable 26
5.3.3 Définition de la dose évitée minimale 27
5.3.4 Définition du critère de dose résiduelle 28
5.4 NIVEAUX D'INTERVENTION POUR LE PMUNE G2 29
5.4.1 Limites à l'utilisation de ces niveaux 33
6 DIMENSION DE LA ZPU-P POUR LE PMUNE G2 33
7 PLANIFICATION DES MESURES DE PROTECTION 34
7.1 PLANIFICATION REQUISE DANS LA ZPU-P 36
7.1.1 Population concernée par la ZPU-P 36
7.1.2 Modalités d'application de l'alerte et des mesures de protection 38
7.1.3 Alerte à la population 38
7.1.4 Mise à l'abri et évacuation 39
7.1.5 La prophylaxie à l'iode stable 41
7.2 PLANIFICATION HORS DE LA ZPU-P 41
CONCLUSION 43
ANNEXE 1 : Calculs des coûts et bénéfices des mesures de protection selon l'AIEA (1994) 44
ANNEXE 2 : Niveaux d'intervention pour les mesures de protection ailleurs dans le monde 46
ANNEXE 3 : Synthèse des lignes directrices pour l'utilisation des comprimés d'iode stable en cas d'accident à la centrale nucléaire GENTILLY 2 47
ANNEXE 4 : Concepts de base liés à la définition des niveaux d'intervention 52
BIBLIOGRAPHIE 55

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Méthode de délimitation de la ZPU-P 3

Figure 2 : Comment déterminer la ZPU-P ? 4

Figure 3 : Les voies d'exposition aux rayonnements 8

Figure 4 : L'exposition aux rayonnements ionisants 9

Figure 5 : Application du critère de dose résiduelle pour la mise à l'abri et l'évacuation 32

Figure 6 : Application des mesures de protection selon le temps d'alerte **Erreur! Signet non défini.**

Figure 7 : Dose projetée, dose évitée et dose résiduelle ..... **Erreur! Signet non défini.**

Figure 8 : Dose résiduelle en fonction d'une dose évitée égale à 100 % 53

Figure 9 : Dose résiduelle en fonction d'une dose évitée nulle 53

Tableau 1 : Effets déterministes en fonction de l'irradiation de différents organes 10

Tableau 2 : Comparaison des caractéristiques des effets déterministes et des effets stochastiques 12

Tableau 3 : Phases de l'accident et mesures de protection 13

Tableau 4 : Critères de définition des limites de la ZPU-P 18

Tableau 5 : Résultats des calculs de doses pour le scénario de l'accident de dimensionnement limite* 21

Tableau 6 : Résultats des calculs de doses pour le scénario de l'accident sévère limite * 22

Tableau 7 : Niveaux d'intervention pour les mesures de protection 23

Tableau 8 : Comparaison des recommandations pour les niveaux d'intervention[4] internationale et nationale 25

Tableau 9 : Risques associés à l'application des mesures de protection 27

Tableau 11 : Exemples de doses reçues de sources médicales et naturelles 28

Tableau 12 : Niveaux d'intervention retenus pour le PMUNE-G2 pour les mesures de protection de la phase initiale 31

Tableau 13 : Distance d'atteinte ou dépassement des critères selon les accidents limites par catégorie d'accident 34

Tableau 14 : Distance d'atteinte ou de dépassement des critères selon les accidents limites par catégorie d'accident[1] 35

Tableau 15 : Population totale des municipalités et secteurs municipaux compris dans la ZPU-P 38

LISTE DES ACRONYMES

ADL :	Accident de dimensionnement limite
AIEA :	Agence Internationale de l'Énergie Atomique
ASL :	Accident sévère limite
CANDU :	Canada Deuterium Uranium
CCEA :	Commission de Contrôle de l'Énergie Atomique
CCSN :	Commission Canadienne de Sûreté Nucléaire
CIPR :	Commission Internationale de Protection Radiologique
CLSC :	Centre local de service communautaire
COMUN :	Comité opérationnel des mesures d'urgence nucléaire
EACL :	Énergie Atomique du Canada Limitée
EPA :	Environmental Protection Agency
FDA :	Food and Drug Administration
GMA :	Group of medical advisers
GTMUN :	Groupe de travail sur les mesures d'urgence nucléaire
IAEA :	International Atomic Energy Agency
ICRP :	International Commission on Radiological Protection
ISR :	International Safety Research
NI :	Niveau d'intervention
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
PMUNE G2 :	Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale nucléaire Gentilly 2
RAD :	Radiation absorbed dose
REM :	Roentgen equivalent man
SSS :	Système spécial de sûreté
Sv :	Sievert
UNSCEAR :	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
USEPA :	United States Environmental Protection Agency
USNRC :	United States Nuclear Regulatory Commisssion
WHO :	World Health Organisation
ZAP :	Zone d'action préventive
ZAU :	Zone d'action urgente
ZPU :	Zone de planification d'urgence
ZPU-I :	Zone de planification d'urgence pour l'exposition par ingestion
ZPU-P :	Zone de planification d'urgence pour l'exposition au panache

INTRODUCTION

Le présent document décrit les bases de planification concernant le *Plan des mesures d'urgence externe à la centrale Gentilly 2* (PMUNE G2). Après avoir présenté le contexte ayant amené à cette révision, nous présentons les notions générales liées aux principaux concepts employés dans ce document ainsi que les critères utilisés pour définir la zone de planification d'urgence pour l'exposition au panache (ZPU-P). Par la suite, nous abordons les chapitres liés à la description des accidents potentiels à la centrale nucléaire Gentilly 2 et aux niveaux d'intervention associés aux mesures de protection[6]. Cela nous amène finalement à déterminer la dimension de la ZPU-P ainsi que les besoins de planification dans la ZPU-P et hors de la ZPU-P.

L'objectif de ce document est de bien présenter et faire comprendre les notions scientifiques servant à la détermination des bases de planification du PMUNE G2. Cela est d'autant plus important que le positionnement arrêté se distance de certaines recommandations internationales et nationales (ex. : sur les aspects coûts-bénéfices et risques-bénéfices santé). De nombreuses notions sont abordées dans ce document et le lecteur non averti aura éventuellement un peu de difficulté à se retrouver dans cet univers assez complexe. Cependant, tous pourront juger des arguments ayant servi à déterminer une position prudente avant tout axée sur la protection de la santé publique ainsi que des valeurs de solidarité sociale et de responsabilité sociale du générateur de risque. Ces valeurs sont à la base de l'approche généralement utilisée au Québec en matière d'intervention d'urgence, que l'on parle de sinistre naturel ou d'origine technologique.

1 CONTEXTE DE LA RÉVISION

Dans le cadre de la phase 1 du projet de révision du PMUNE-G2 (1994-1996), une ZPU-P de 7 km a été déterminée, basée sur l'étude des scénarios d'accident potentiels à Gentilly 2 et sur la méthode proposée par l'Environmental Protection Agency (USEPA) des États-Unis qui utilisait comme critère de délimitation de la distance le niveau d'intervention de l'évacuation. Cette nouvelle ZPU-P, incluse dans le plan directeur du PMUNE-G2, a été approuvée par le Comité de sécurité civile du Québec le 29 février 1996. Elle remplaçait celle de 16 km qui existait depuis la mise en opération de la centrale. Cette zone de 16 km avait été calquée sur celle des États-Unis, sans étude spécifique pour la centrale Gentilly 2[7].

---

6. L'expression « mesures de protection » désigne dans le présent document les mesures de protection urgentes de la phase initiale que sont la mise à l'abri, la prophylaxie à l'iode stable et l'évacuation.
7. Il est à préciser que la planification d'urgence spécifique en fonction de la centrale Gentilly 2 dans cette zone de 16 km était assez réduite. Elle comprenait le stockage de comprimés d'iode pour la population résidant dans les 10 km autour de la centrale, le *Plan d'urgence intégré de la Ville de Bécancour* et la distribution par Hydro-Québec d'un feuillet expliquant le *Plan des mesures d'urgence externe* à la centrale.

Depuis, les connaissances et les recommandations internationales en matière de planification d'urgence nucléaire et de radioprotection ont évolué. Dans le cadre des travaux du Comité sur les mesures d'urgence nucléaire (COMUN), les bases de planification relatives à la ZPU-P ont été redéfinies en tenant compte des plus récentes recommandations internationales et canadiennes (IAEA, 1997 ; l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 1999) ; Santé Canada, 2001, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2002), mais également en se basant sur l'approche de santé publique et l'application des mesures d'urgence préconisées dans le contexte québécois (Lefebvre, 2000). La présente révision porte sur les niveaux d'intervention pour les mesures de protection et les scénarios d'accident nécessitant une planification spécifique à la centrale Gentilly 2.

Suites de Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl, survenu en avril 1986, a eu des répercussions importantes sur la planification d'urgence, en particulier sur deux aspects. Premièrement, il a mis en évidence la possibilité que des accidents « sévères » puissent survenir, amenant l'Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA, 1999) à modifier ses recommandations pour la planification d'urgence. International Safety Research (ISR), qui a produit pour la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) des lignes directrices fortement inspirées des recommandations de l'IAEA (ISR, 2002), suggère également de prendre en compte les accidents sévères dans les plans d'urgence nucléaire

Deuxièmement, les études effectuées sur les populations exposées aux retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl ont mis en évidence une augmentation du cancer de la glande thyroïde chez les individus âgés à l'époque de 0 à 18 ans et ayant consommé du lait contaminé à l'iode radioactif. Suite à ce constat, l'OMS a modifié ses recommandations concernant la prophylaxie à l'iode stable en vue de protéger les groupes à risque (1999). Ces recommandations ont amené plusieurs pays à revoir cette mesure de protection dans leur planification d'urgence. La France, par exemple, a décrété la prédistribution de comprimés d'iode dans une zone de 10 km autour de chacune des centrales nucléaires de son territoire. Aux États-Unis, la Food and Drug administration (FDA, 2001) a également revu ses recommandations pour cette mesure.

2 NOTIONS GÉNÉRALES

2.1 Zone de planification d'urgence

Une zone de planification d'urgence (ZPU) peut se diviser en deux grandes parties :

- la zone de planification d'urgence en fonction du panache (ZPU-P), dont les actions sont effectuées dans les premiers jours et les premières semaines, en fonction de la phase initiale d'un accident[8] et qui visent la protection vis-à-vis le nuage radioactif et les dépôts au sol. Cette zone peut être subdivisée en deux parties :

8. Voir la section 2.6 du présent document intitulée *Phases d'un accident*.

- une zone d'action préventive (ZAP)
- une zone d'action urgente (ZAU)

- la zone d'action à long terme où le risque est déterminé sur une période de plusieurs mois à plusieurs années. Les mesures viseront la protection de la population par rapport à la contamination de l'environnement (sol, sources d'eau potable) et à la chaîne alimentaire (zone de planification pour l'exposition par ingestion ou ZPU-I).

Dans le cadre du présent document, nous nous intéresserons à la ZPU-P, l'analyse concernant la ZPU-I ayant déjà été traitée dans le document de référence du GTMUN (1996-a). Pour ce qui est des autres mesures de protection à plus long terme, comme le relogement, elles seront abordées dans des lignes directrices spécifiques.

2.2 Méthode pour déterminer la ZPU-P

Les figures suivantes illustrent la méthode qui permet de déterminer le périmètre à l'intérieur duquel les mesures de protection à la population doivent être planifiées. Il s'agit de déterminer la distance à laquelle seront atteints ou dépassés des critères de planification qui sont soit des niveaux d'intervention en lien avec les mesures de protection, soit des seuils d'effets sur la santé de la population exposée.

Figure 1 : Méthode de délimitation de la ZPU-P

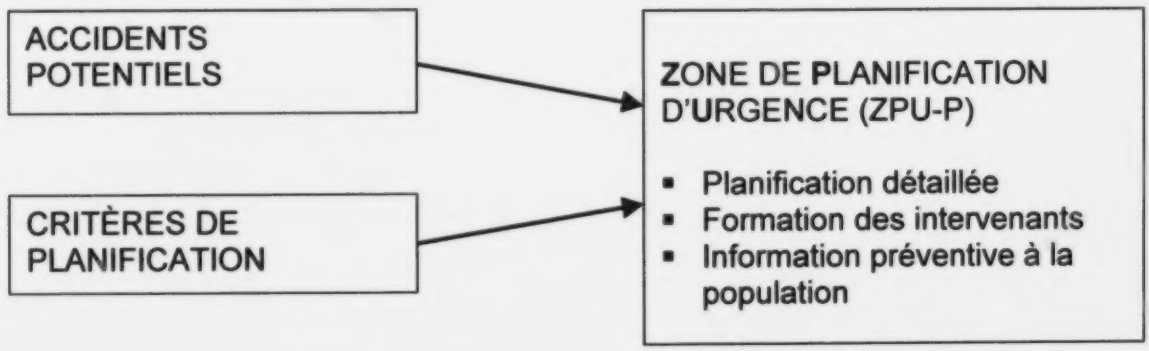
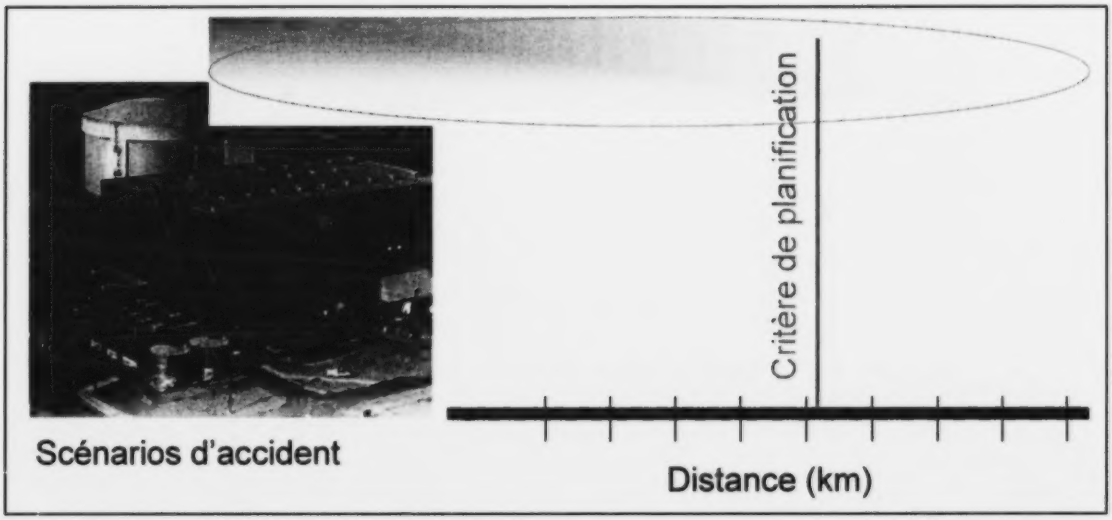


Figure 2 : Comment déterminer la ZPU-P ?



2.3 Détermination du risque : les scénarios d'accident

Malgré que la centrale nucléaire Gentilly 2 soit jugée sécuritaire lors des évaluations des agents de la CCSN chargés d'en évaluer le fonctionnement[9], il existe, comme pour toute autre industrie, des possibilités de défaillance technologique des systèmes de contrôle et de sûreté pouvant engendrer des accidents avec des répercussions potentielles pour la population et les industries avoisinantes[10].

2.3.1 Gravité des accidents

On peut classer les accidents pouvant affecter une centrale nucléaire selon une première catégorie, définie en fonction de leur gravité potentielle.[11] Cette catégorie comprend les accidents de dimensionnement et les accidents sévères.

9. Voir à ce chapitre les rapports annuels des agents de la CCSN sur le fonctionnement de la centrale nucléaire Gentilly 2.
10. La centrale Gentilly 2 jouxte le Parc industriel et portuaire de Bécancour regroupant près de 3 000 travailleurs.
11. Adapté de Hydro-Québec, Centrale nucléaire Gentilly 2, 2001, ISR, 2002 et IAEA, 1997.

Les **accidents de dimensionnement** sont ceux pour lesquels les systèmes spéciaux de sûreté (SSS) de la centrale ont été initialement conçus en vue de limiter les dommages au combustible[12] et la dispersion de produits de fission dans l'environnement. Cette catégorie comprend les accidents avec défaillance simple (défaillance sérieuse d'un système de procédé) et défaillance double (défaillance simple plus défaillance d'un système spécial de sûreté). La probabilité d'un accident de dimensionnement est de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-6} par année. Les conséquences de ces accidents sont documentées dans le *Rapport de sûreté* produit et mis à jour périodiquement par Gentilly 2.

Les accidents de dimensionnement comprennent des accidents pouvant affecter les systèmes suivants (Garceau, 1996) :

Systèmes de procédés

- le système caloporteur (tubes de force, bouchons d'extrémité, tuyaux caloporteurs) ;
- le générateur de vapeur et ses tuyaux d'alimentation ;
- les systèmes de contrôle du réacteur (contrôle de la réactivité, de la pression) ;
- la conduite de vapeur ;
- la machine de chargement du combustible ;
- le système modérateur ;
- les systèmes d'alimentation électriques.

Systèmes spéciaux de sûreté

- les deux systèmes d'arrêt d'urgence ;
- le système de refroidissement du cœur ;
- le système de confinement.

Le *Rapport de sûreté* présente une analyse des accidents de dimensionnement simples (défaillance d'un système de procédé) et doubles (défaillance simultanée d'un système de procédé et d'un système spécial de sûreté) et leurs conséquences en termes de doses à la population. Certains autres accidents sont également analysés dans ces rapports, à la demande de la CCSN.

[12] Le combustible est constitué de grappes d'uranium naturel contenues dans le cœur du réacteur.

Les **accidents hors dimensionnement,** en particulier les **accidents sévères,** sont ceux pour lesquels les systèmes spéciaux de sûreté n'ont pas été initialement conçus pour éviter un dommage significatif au combustible ou empêcher un rejet important de matière radioactive. Les accidents hors dimensionnement comprennent les accidents avec triple défaillance (défaillance d'au moins deux systèmes spéciaux de sûreté) et les accidents sévères. Ceux-ci sont décrits comme menant à la perte d'intégrité du cœur du réacteur et à des relâches importantes hors du confinement. Les accidents sévères, dont la probabilité demeure très faible (< 10^{-6} par année), ont été décrits et étudiés par Énergie atomique du Canada limitée (EACL), le fabricant des réacteurs CANDU, dans un document datant de 1988 (EACL, 1988). Suite aux recommandations internationales (IAEA, 1997) et à celles de la CCSN (ISR, 2002), l'importance de considérer cette catégorie d'accidents dans la planification d'urgence est maintenant reconnue.

Les principaux accidents sévères examinés par EACL sont les suivants (Hydro-Québec, 2001a) :

- ECDa (*Early Core Disassembly*) : scénario d'excursion rapide de puissance avec démembrement du cœur sans combustion d'hydrogène ;
- ECDb (*Early Core Disassembly with hydrogen burn*) : scénario d'excursion rapide de puissance avec démembrement du cœur et combustion d'hydrogène ;
- LCDc (*Late Core Dissassembly*) : scénario de démembrement tardif du cœur sans combustion d'hydrogène ;
- LCDd (*Late Core Dissassembly*) : scénario de démembrement tardif du cœur avec combustion d'hydrogène ;
- PM (*Partial Core Melt*) : scénario de fusion partielle du cœur ;
- LCD+CBP (*Late Core Dissassembly with Containment Bypass*) : scénario de démembrement tardif du cœur avec contournement du confinement.

2.3.2 Dynamique des accidents

Les accidents peuvent aussi se diviser selon leur vitesse à engendrer des ***relâches de matières radioactives dans l'environnement***. Cette vitesse est tributaire de deux critères : le délai avant la libération de matières radioactives du réacteur dans le bâtiment de confinement et le délai entre leur présence dans le bâtiment de confinement et leur libération dans l'environnement.

Les **accidents à cinétique rapide** sont ceux pour lesquels il y a libération rapide de matières radioactives dans l'environnement suite à une défaillance du confinement et en l'absence d'une « phase de menace »[13] (Groupe No 3, Sécurité nucléaire, 1998). Cette défaillance peut résulter d'un problème d'activation des mécanismes d'isolation du bâtiment ou d'une incapacité de contenir les matières radioactives en raison d'une augmentation rapide de pression dans celui-

13. Par « phase de menace », nous entendons un délai suffisant entre le début de l'accident et les rejets de matières radioactives dans l'environnement pour mettre en place les structures permettant d'établir les premiers diagnostics de l'installation, une estimation des rejets et de leurs conséquences radiologiques.

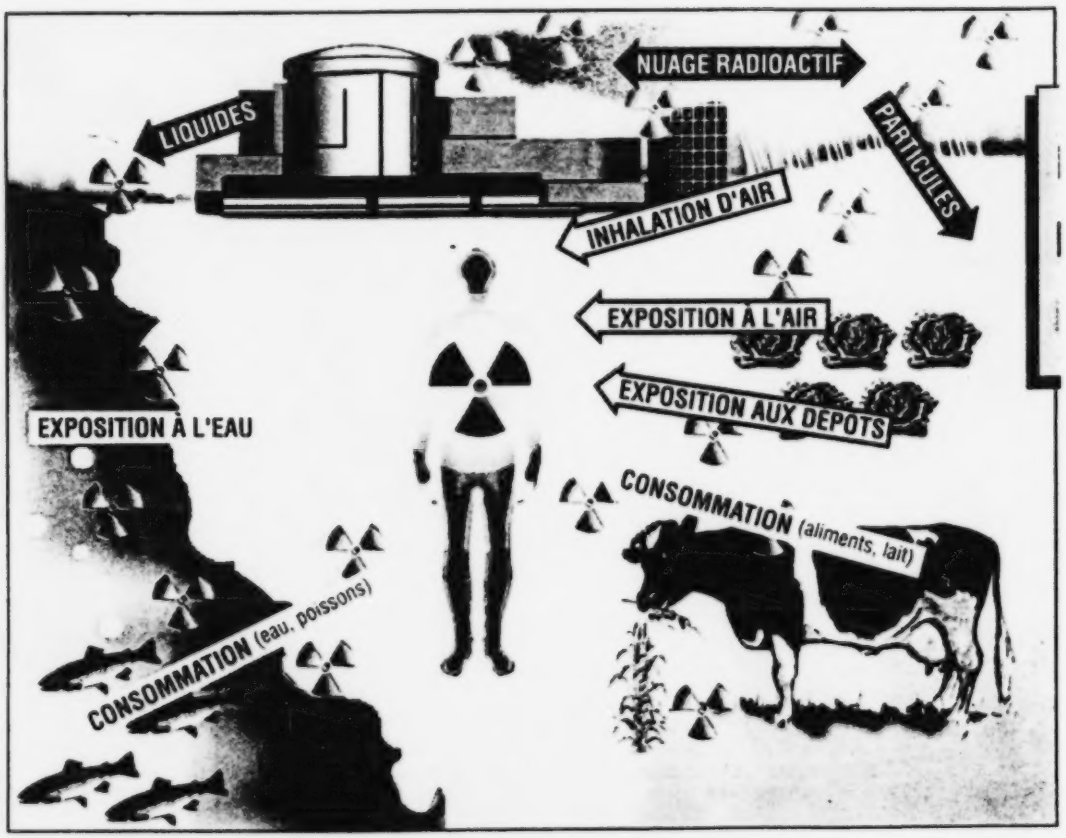
ci. Dans le premier cas, il y a libération immédiate de matières radioactives dans l'environnement selon la durée requise pour constater la fuite de radioactivité ainsi que l'indisponibilité du confinement et, ensuite, pour activer les mécanismes d'isolation de façon manuelle. Bien que l'isolation de l'enceinte de confinement soit une des priorités de l'opérateur si l'action ne se réalise pas automatiquement, les analyses de sûreté considèrent, par prudence, un délai de 15 minutes suite au premier signal non ambigu d'accident avant que l'opérateur n'effectue cette action. Dans le deuxième cas, il s'agit d'un accident sévère pouvant provoquer des fissures et entraîner ainsi la libération de vapeur et de particules radioactives dans l'environnement. Pour ce type d'accident, l'analyse a démontré que les relâches pouvaient également survenir rapidement, soit quelques minutes après le début de l'accident (AECL, 1988). Les accidents à cinétique rapide ne laissent que très peu de temps pour la mise en place de mesures de protection pour la population.

Les **accidents à cinétique lente** sont précédés d'une phase de menace. Le délai est généralement de plusieurs heures et permet habituellement la mobilisation des équipes d'urgence, l'alerte de la population et la mise en place des mesures de protection, comme l'évacuation si indiquée. La mobilisation des équipes pour effectuer les mesures dans l'environnement est également possible, permettant de générer des données qui serviront de base aux décisions.

2.4 Voies d'exposition aux rayonnements ionisants

La quantité de rayonnements reçue par l'organisme lors d'une exposition à des substances radioactives constitue ce que l'on appelle la « dose ». Cette quantité est fonction du type de rayonnements émis par les substances radioactives (principalement bêta ou gamma) et des effets potentiels de ces rayonnements sur l'organisme. En cas d'accident avec émission de substances radioactives par une centrale nucléaire, les rejets se comporteront comme un nuage invisible contenant des particules et des gaz radioactifs (figure 3). Les principales voies d'exposition dans les premières heures et premiers jours sont l'irradiation externe due à l'exposition à l'air ou aux dépôts, l'irradiation interne par inhalation d'air contaminé et la contamination externe de la peau et des vêtements (figure 3). Par la suite, et pour une période qui peut s'étendre sur plusieurs mois et même plusieurs années, l'ingestion d'aliments contaminés et l'exposition aux dépôts au sol seront principalement à considérer.

Figure 3 : Les voies d'exposition aux rayonnements



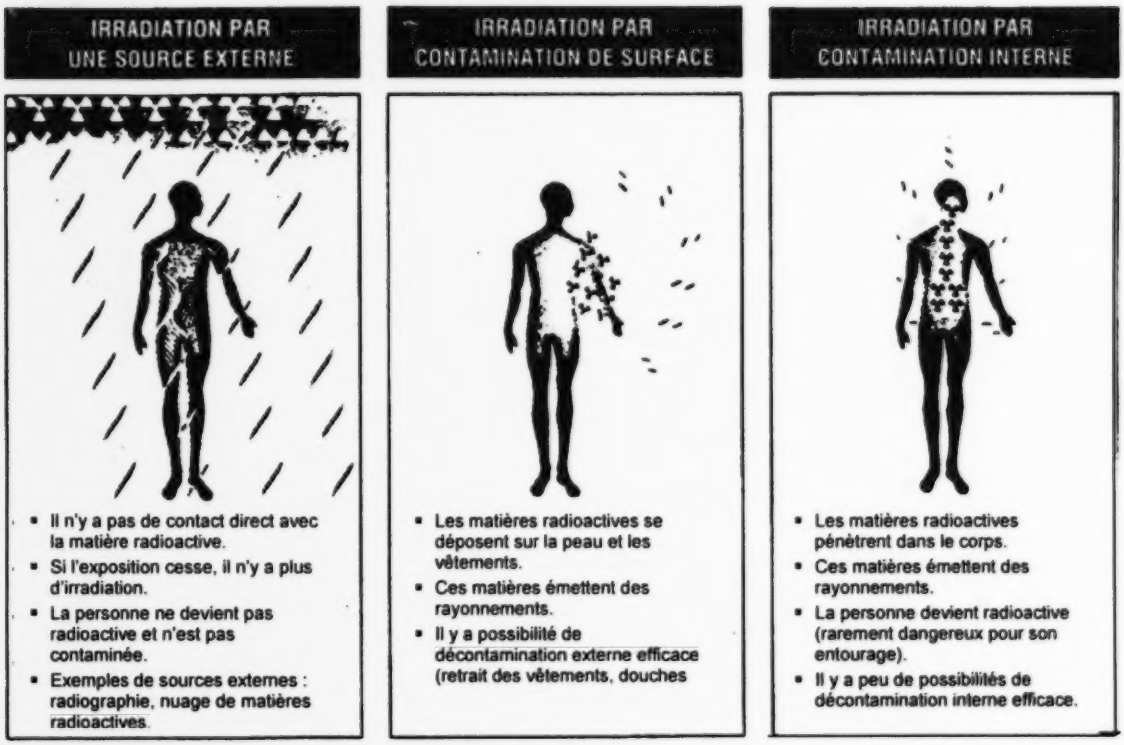
Source : Département de santé communautaire du C.H. Ste-Marie, 1993

De par leurs propriétés intrinsèques, les matières radioactives émettent des rayonnements qui peuvent, selon la quantité reçue (ou dose) produire des effets néfastes à la santé des personnes exposées. Les principaux rayonnements émis dans l'environnement, de type bêta et gamma, ont des propriétés différentes et requièrent des moyens de protection distincts.

Types	*Parcours dans l'air*	*Pouvoir de pénétration*
Bêta	Jusqu'à une vingtaine de mètres	1 à 2 cm à travers la peau
Gamma	Plusieurs centaines de mètres	Rayonnements passent à travers le corps; fortement atténués par 1 mètre de béton

Les rayonnements ionisants peuvent atteindre l'organisme de différentes façons, tel qu'illustré à la figure suivante.

Figure 4 : L'exposition aux rayonnements ionisants



Source : Département de santé communautaire du C.H. Ste-Marie, 1993

2.5 Effets des rayonnements ionisants sur la santé

Les effets sur la santé reliés à l'exposition aux rayonnements ionisants sont de deux ordres (CIPR, 1990) : les effets déterministes (ou précoces) et les effets stochastiques (ou tardifs).

Les **effets déterministes** peuvent survenir après une irradiation généralisée ou localisée de l'organisme, causant la destruction d'une certaine quantité de cellules qui ne peut être compensée par la production de cellules viables. Cette perte de cellules peut causer des effets sévères sur la santé ainsi que des manifestations cliniques qui apparaîtront à partir d'un certain seuil (variable selon les organes) et dont la gravité augmentera avec la dose. Les effets déterministes surviennent souvent relativement tôt après l'exposition (quelques heures à quelques semaines) et incluent la morbidité (maladie) et la mortalité (décès) lorsque l'organe endommagé est vital. Le seuil des effets déterministes sévères est le niveau de dose où le risque de décès commence à apparaître, sans traitement médical, chez les groupes les plus à risque (ex. : personnes déjà affectées par une maladie avec atteinte de l'état général, comme le cancer ou d'autres maladies graves). Ce seuil est déterminé à **100 rem (1 Sv)** en dose absorbée à l'organisme entier (ou à la moelle osseuse, organe ayant le seuil le plus faible). Les principaux effets déterministes, les organes qui y sont associés ainsi que les seuils de manifestations sont présentés au tableau suivant.

Tableau 1 : Effets déterministes en fonction de l'irradiation de différents organes

Organes	*Effets déterministes*[1]	*Seuil*	
		rem	*(Sv)*[2]
Organisme entier (doses à la moelle osseuse)	Vomissements	**25 à 50**	(0,25 à 0,5)
	Baisse des globules blancs dans le sang	**50**	(0,5)
	Baisse importante des globules dans le sang *	**100**	(1)
	Décès* (en raison de l'irradiation de la moelle osseuse) pour les groupes à risque	**100**	(1)[3]
	Dose létale 50/60*, sans traitements médicaux[4]	**300 – 500**	(3-5)
	Dose létale 50/60*, avec traitements médicaux[5]	**500**	(5)
Poumons	Inflammation*	**1 000**	(10)
Intestins	Hémorragies*	**500-1 000**	(5-10)
Testicules	Infertilité temporaire : une dose reçue sur une courte période	**15**	(0,15)
	Infertilité temporaire, exposition prolongée	**40** par année	(0,4)
	Infertilité permanente : dose reçue sur une courte période	**350-600**	(3,5 à 6)
	Infertilité permanente : exposition prolongée	**200** par année	(2)
Ovaires	Stérilité permanente : exposition aiguë	**250-600**	(2,5 à 6)
	Stérilité permanente : exposition prolongée	**20** par année	(0,2)
Cerveau	Œdème*	**1 500**	(15)
Yeux (cristallin)	Cataracte : exposition aiguë	**200 - 1 000**	(2 à 10)
	Cataracte : exposition prolongée	**15** par année	(0,15)
Thyroïde	Hypothyroïdie	**500**	(5)
Peau	Rougeur et desquamation sèche	**300**	(3)
	Desquamation humide et vésicules	**2 000**	(20)
	Nécrose	**5 000**	(50)

Sources : adapté de CIPR, 1991 et UNSCEAR, 1993.

1 Les effets déterministes suivis d'un astérisque (*) sont dits sévères, c'est-à-dire qu'ils peuvent entraîner le décès chez les groupes à risque de la population (personnes présentant un déficit grave du système immunitaire ou une atteinte importante de l'état général, comme un cancer généralisé ou une infection importante).

2 Exprimé en dose absorbée unique reçue sur une courte période (moins de 2 jours) par des personnes en bonne santé. Pour fin de simplification, nous utiliserons le rem (ou le Sv) comme unité de dose absorbée (habituellement exprimée en rad ou Gray), en déterminant qu'un rem est égal à un rad (ou 1 Sv est égal à 1 Gy).

3 Seuil de décès chez les personnes les plus sensibles, sans traitement médical.

4 La dose létale 50/60 est la dose à laquelle 50 % de la population décédera dans les 60 jours suivant l'exposition (CIPR, 1990).

5 Par traitements médicaux, on considère l'hospitalisation avec soins médicaux et infirmiers, les antibiotiques et antifongiques, les transfusions sanguines et remplacement des liquides au besoin (n'inclut pas la transplantation de moelle osseuse) (CCEA, 1992).

Les **effets stochastiques** sont le résultat de dommages causés à l'acide désoxyribonucléique (ADN) contenu dans les chromosomes des cellules. Selon le type de dommage, les cellules peuvent être réparées complètement ou se transformer en cellules viables, mais modifiées. La reproduction d'une cellule somatique modifiée peut provoquer un cancer après une période de latence prolongée et variable, selon les organes touchés. Le risque de cancer est la préoccupation principale en radioprotection. Les principaux cancers observés chez les populations exposées aux radiations comprennent la leucémie ainsi que les cancers de la thyroïde, du poumon, du sein et des os.

« Des dommages causés à une cellule ayant pour fonction de transmettre de l'information génétique peuvent avoir des effets sur la santé des descendants de la personne exposée. Des *effets héréditaires* dus au rayonnement ont été observés chez les animaux de laboratoire, mais leur apparition chez des populations humaines n'a pas été prouvée directement. ». (Santé Canada, 1998, p. 17)[14]

Le concept de « dose équivalente » est utilisé pour désigner les effets stochastiques, puisqu'il contient un facteur de pondération qui tient compte de l'efficacité des rayonnements ionisants à produire des effets biologiques stochastiques à faible dose ou faible débit de dose. L'unité utilisée pour la dose équivalente est le rem (ou le Sv dans le cadre du Système International).

Pour décrire la relation entre la dose et les effets stochastiques, y compris les faibles doses (inférieures à 20 rem ou 200 mSv), le modèle de relation linéaire sans seuil est retenu par précaution par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) pour des fins de radioprotection, même si la preuve des cancers a surtout été établie pour des doses élevées (supérieures à 20 rem ou 200 mSv). Il est important de mentionner que le calcul des effets potentiels en lien avec ce modèle, pour les faibles doses ou les faibles débits de dose (inférieurs à 600 mrem (6 mSv) à l'heure), ne peut servir à prévoir les répercussions de l'exposition réelle d'un individu ou d'une population. Il peut cependant être utile pour comparer les options en matière de gestion de risque et de réglementation (Santé Canada, 1998).

14. Et ce même chez les populations d'Hiroshima et Nagasaki exposées aux explosions des bombes atomiques en 1945 (UNSCEAR, 1993).

Tableau 2 : Comparaison des caractéristiques des effets déterministes et des effets stochastiques

	EFFETS DÉTERMINISTES		*EFFETS STOCHASTIQUES*[3]	
Manifestations	Précoces : quelques heures à quelques semaines		Tardives : plusieurs années après l'exposition	
Conséquences de l'augmentation de la dose	Augmentation de la **gravité** des effets		Augmentation de la **probabilité** des effets	
Dose seuil (niveau à partir duquel l'effet apparaît) pour les adultes	25 rem (0,25 Sv) si la dose est reçue sur une période courte (de quelques heures à quelques jours)		Absence de seuil	
Type d'effets selon la dose à l'organisme entier (rem)[1]	0-25 rem (0-0,25 Sv)	Pas d'effet décelable	1 rem (0,01 Sv)[4]	5 cas potentiels de cancer mortel / 10 000 personnes exposées[4]
	25-100 rem (0,25 –1 Sv)	Baisse temporaire des globules blancs dans le sang Nausées		1 cas potentiel d'effet héréditaire[6] / 10 000 personnes exposées
	100 rem (1 Sv)	Décès possible chez les groupes les plus à risque[2]	100 rem (1 Sv)	500 cas potentiels de cancer mortel / 10 000 personnes exposées
	100-300 rem (1-3 Sv)	Apparition de décès chez les groupes les plus à risque		100 cas potentiels d'effet héréditaire / 10 000 personnes exposées
Cas particulier de l'embryon et du fœtus	10 rem (0,1 Sv) au fœtus • retard mental et microcéphalie (cerveau et crâne anormalement petits), surtout entre la 8e et la 15e semaines de grossesse • avortement spontané possible[5]			

Sources : Informations adaptées de CIPR,1991 ; UNSCEAR, 1993 ; USEPA, 1992.

1 Pour fins de simplification, nous considérons que 1 rem (10 mSv) équivaut à 1 rad (10 mGy) en dose engagée pour les doses aux organes.

2 Sans traitement médical, pour une dose aiguë (reçue en moins de 2 jours) par les groupes à risque (voir tableau 2).

3 Le risque moyen de mourir d'un cancer dans la population générale se situe à environ 25 % ou 2 500/10 000 (Statistique Canada, 2001).

4 Pour les faibles doses (< 20 rem ou 200 mSv), ces facteurs de risque ne peuvent servir à prédire les cas réels.

5 Certains pays comme la Suède recommandent un avortement thérapeutique chez les femmes enceintes exposées à des doses supérieures à 10 rem (100 mSv) (USEPA, 1992).

6 Effet non prouvé chez l'humain (voir texte).

2.6 Phases d'un accident

Le tableau qui suit illustre les caractéristiques se rattachant aux trois phases d'un accident ainsi que les mesures de protection associées.

Tableau 3 : Phases de l'accident et mesures de protection

Phases	***Initiale***	***Intermédiaire***	***Rétablissement***
Durée	De la reconnaissance de la possibilité de rejets jusqu'à quelques heures après la fin des rejets (durée totale : de quelques heures à quelques jours)	De quelques heures après la fin des rejets jusqu'à quelques jours ou semaines plus tard (contamination environnementale)	Peut durer plusieurs mois à plusieurs années.
Principales voies d'exposition	Externe : ▪ Irradiation externe provenant du nuage ▪ Contamination de la peau et des vêtements ▪ Irradiation provenant des dépôts au sol Interne : ▪ Inhalation au passage du nuage	Externe : ▪ Exposition aux dépôts au sol Interne : ▪ Ingestion d'aliments et d'eau (transfert des dépôts dans la chaîne alimentaire) ▪ Inhalation des matières remises en suspension	Externe : ▪ Exposition aux dépôts au sol Interne : ▪ Ingestion d'aliments et d'eau ▪ Inhalation des matières remises en suspension
Principales mesures de protection possibles	▪ Contrôle d'accès ▪ Mise à l'abri ▪ Administration d'iode ▪ Évacuation ▪ Embargo alimentaire ▪ Interdiction de consommation de l'eau ▪ Décontamination des personnes	▪ Contrôle d'accès ▪ Mesures simples de réduction de la dose (diminution du temps passé à l'extérieur, décontamination des surfaces, etc.) ▪ Administration d'iode ▪ Relogement temporaire ▪ Décontamination des personnes et soins médicaux ▪ Contrôle de la consommation de l'eau et de la nourriture	▪ Contrôle d'accès ▪ Relogement permanent ▪ Décontaminatio n de l'environnement ▪ Contrôle de la consommation de l'eau et de la nourriture

Source : IAEA, 1985.

3 CRITÈRES POUR LA DÉFINITION DE LA ZPU-P DANS LE PMUNE G2

Cette section présente les critères techniques recommandés par les organismes internationaux et canadiens et ceux que nous retenons pour la définition de la ZPU-P pour le PMUNE G2.

3.1 Définition de zone de planification d'urgence (ZPU)

Une zone de planification d'urgence (ZPU[15]) est le territoire prédésigné autour d'une centrale nucléaire[16] où les risques potentiels demandent une **préparation détaillée** pour l'implantation de mesures de protection. Cette planification est nécessaire afin de garantir une intervention rapide et efficace pour protéger la population lors du passage d'un panache (nuage) de matières radioactives lors d'un accident.

Cette planification détaillée permet de s'assurer que :

- les municipalités concernées, supportées par les ministères et organismes gouvernementaux, soient en mesure d'appliquer les mesures de protection prévues dans leur planification (ex. : avoir un système d'alerte et de mobilisation à jour, un système de notification de la population fonctionnel, un plan de mise à l'abri et d'évacuation opérationnel) ;
- la population et les intervenants clés (ex. : personnel des CLSC, médecins, policiers, etc.) reçoivent des consignes claires et précises sur les mesures de protection à prendre en cas d'accident avec rejets radioactifs ;
- le personnel d'urgence reçoive une formation spécialisée de façon continue ;
- le support gouvernemental soit prêt à être mis en œuvre ;
- des exercices réguliers permettent de tester et d'améliorer le PMUNE-G2.

3.2 Recommandations internationales

L'AIEA (IAEA,1997) recommande, pour les centrales de catégorie II (> 100 MW)[17] la définition de deux zones.

3.2.1 Zone d'action préventive[18] (ZAP)

- Zone prédéfinie où des actions préventives (mise à l'abri, évacuation, prophylaxie à l'iode stable) doivent être prises aussitôt que les conditions pouvant mener à un accident grave se développent, sans attendre que les contrôles radiologiques hors site confirment la gravité de la situation.

---

15. Information adaptée à partir de ISR 2002.
16. Hydro-Québec possède une zone de 1 km autour de la centrale appelée zone d'exclusion.
17. La centrale Gentilly 2 produit annuellement environ 680 MW électriques.
18. Traduction de *Precautionary action zone* ou PAZ.

- La planification dans cette zone doit assurer un système d'alerte rapide à la population (ex. : sirènes) et fournir une information pour l'application de mesures de protection urgentes.
- L'étendue de cette zone est basée sur les critères suivants :
  - ☑ couvrir 90% des risques de dépassement de seuils des effets précoces sévères (mortalité, 100 rem ou 1 Sv) pour le pire scénario d'accident grave ;
  - ☑ Prévenir les dépassements du seuil de 100 rem (1 Sv) pour la plupart des autres scénarios d'accident graves.

3.2.2 Zone d'action urgente[19] (ZAU)

- Zone où une planification permettra d'effectuer rapidement des analyses environnementales et d'implanter des mesures de protection sur la base des résultats de ces analyses.
- Les plans doivent assurer une capacité d'implanter des mesures de protection (mise à l'abri, évacuation, prophylaxie à l'iode stable).
- L'étendue de cette zone est basée sur les critères suivants :
  - ☑ réduire significativement le risque d'effets précoces sévères pour le pire accident sévère ;
  - ☑ couvrir 99 % des risques de dépassement du seuil des effets précoces sévères (100 rem ou 1 Sv) pour le pire scénario d'accident sévère.

3.3 Recommandations canadiennes

La CCSN vient de publier des lignes directrices canadiennes concernant les bases de planification (ISR, 2002). La définition de la ZAP est à peu près la même que celle de l'AIEA alors que celle de la ZAU est différente.

ZAP

- La zone prédésignée autour d'une centrale nucléaire :
  - ☑ où des effets déterministes peuvent se produire suite à des accidents sévères pour la plupart des conditions météo ;
  - ☑ où des interventions sont implantées automatiquement sur la base des informations prévalant en centrale plutôt que sur les données reliées aux rejets seulement. L'objectif visé est de réduire de façon importante le risque d'effet déterministe en implantant des mesures de protection avant les rejets dans l'environnement ou très tôt après leur début.

ZAU

- Zone où le principal risque d'exposition est à court terme (jours, semaines).
- Suite à l'exposition au nuage (irradiation externe et inhalation) ou aux dépôts.
- Zone prédésignée autour d'une centrale nucléaire où la planification est faite pour implanter des mesures de protection urgentes principalement sur la base de mesures dans l'environnement.

---

19. Traduction de *Urgent protective action planning zone* ou UPZ.

- Zone où l'implantation des mesures de protection urgentes sera justifiée pour la plupart des accidents analysés dans les rapports de sûreté.

La CCSN mentionne que le niveau de planification doit tenir compte des probabilités plus fréquentes des accidents de dimensionnement par rapport aux accidents sévères.

3.4 Méthode utilisée aux États-Unis

La Nuclear Regulatory Commisssion (USNRC) et l'Environmental Agency des États-Unis (USEPA) ont défini les bases de la planification pour les plans externes aux centrales américaines dans un document datant de 1978. La zone de planification d'urgence (*Emergency Planning Zone* ou EPZ) a été déterminée en fonction d'un large éventail d'accidents modulés selon des considérations probabilistes[20]. La distance générique déterminée (16 km) est jugée suffisante pour diminuer les doses consécutives aux accidents de dimensionnement en deçà des niveaux d'intervention pour les mesures de protection et, pour les accidents sévères, sous le seuil de risque de décès précoces déterminé à 200 rem (2 Sv).

Il n'y a pas de ZAP formelle, quoiqu'une approche « étapiste » ferait en sorte d'appliquer rapidement des mesures de protection prédéterminées dans une zone rapprochée (3 à 5 km) sur la base des données en centrale, en cas d'accident sévère à cinétique rapide (Evans, 1993).

3.5 Méthodes utilisées ailleurs au Canada

3.5.1 Ontario

L'approche définie en Ontario (Province of Ontario, 1999) décrit les bases de planification adoptées par cette province :

- Une *zone rapprochée* (*contiguous zone*) de 3 km : zone entourant la centrale où un niveau accru de planification et de préparation d'urgence est nécessaire en raison de la proximité du risque.
- La *zone primaire* (*primary zone*), d'un rayon d'environ 10 km autour d'une centrale, pour laquelle une planification et une préparation détaillées sont nécessaires pour l'application de mesures de protection (y compris l'évacuation) par rapport à un nuage radioactif. La zone rapprochée comprend la zone contiguë.
- La *zone secondaire* (*secondary zone*), de 50 km, pour laquelle sont planifiées les mesures contre l'ingestion de matières radioactives.

Une planification détaillée n'est pas envisagée pour les accidents sévères, mais pour les accidents de dimensionnement avec une dose maximale de 25 rem (250 mSv) à 1 km.

---

20. Les doses déterminées en fonction de l'analyse des conséquences des accidents sont modulées en fonction de probabilités attribuées à différents paramètres de calculs (fréquence des accidents, classe de stabilité et vitesse des vents, etc).

3.5.2 Nouveau-Brunswick

Au Nouveau-Brunswick, la zone de planification d'urgence entourant la centrale nucléaire de Pointe-Lepreau, centrale identique à Gentilly 2, couvre un territoire de 20 km faiblement peuplé (moins de 5 000 personnes), bien que la population considérée à risque soit celle de la zone de 5 à 10 km autour de la centrale[21].

3.6 Critères retenus pour le PMUNE G2

3.6.1 Concepts de ZAP et de ZAU

Quoique sûrement utiles dans d'autres contextes, nous ne croyons pas pertinent de retenir les concepts de la ZAP et la ZAU dans le PMUNE-G2 pour les raisons suivantes :

- La définition de la ZAP demande une application automatique de mesures de protection sans attendre les résultats des mesures environnementales dans le cas des accidents sévères. Nous sommes d'accord avec cette application, mais la croyons trop restrictive en l'appliquant seulement aux accidents sévères.
- En effet, la majorité des accidents de dimensionnement à Gentilly 2 qui demanderaient l'application de mesures de protection (atteinte ou dépassement des niveaux d'intervention) sont des accidents à cinétique rapide avec rejets immédiats dans l'environnement.
- Pour les accidents sévères, nous pouvons faire face à des accidents à cinétique rapide ou à des accidents à cinétique lente.
- Un avantage que l'on pourrait donner à l'application d'une ZAP est de pouvoir d'abord évacuer les zones rapprochées d'une centrale (population les plus exposées) en s'assurant que la population de la ZAU ne fera pas obstacle à cette évacuation en évacuant elle-même. La densité relativement faible de la population autour de Gentilly 2 vient annuler cet avantage dans notre contexte.

À cause de la possibilité d'accidents de dimensionnement et d'accidents sévères à cinétique rapide, l'ensemble de notre ZPU-P correspondra à la définition d'une ZAP où l'application des mesures de protection se fera, dans une grande majorité de situations, sur la base de données relatives aux conditions en centrales et d'autres données disponibles (ex. données de modélisation, de scénarios d'accidents pré-calculés) et non sur la base d'analyses environnementales (voir figure 6)[22]. Dans ce cas, nous recommandons de ne conserver que le concept de ZPU-P en lui accolant les caractéristiques d'une ZAP.

3.6.2 Critères retenus pour la délimitation de la ZPU-P

Nous nous rangeons derrière la position de l'AIEA et de la CCSN pour définir notre zone de planification d'urgence en fonction des *accidents de dimensionnement* et des *accidents sévères*. Le tableau 4 montre les critères utilisés dans ce document pour définir les limites de la ZPU-P. Le critère menant à la distance la plus éloignée de la centrale détermine la taille de la ZPU-P (voir figure 5).

---

21. Information de monsieur Ernest MacGillivray, Emergency Measures N-B, 25 avril 2002.
22. Cette position est en concordance avec celle développée et enseignée aux États-Unis (Dinger, 2001).

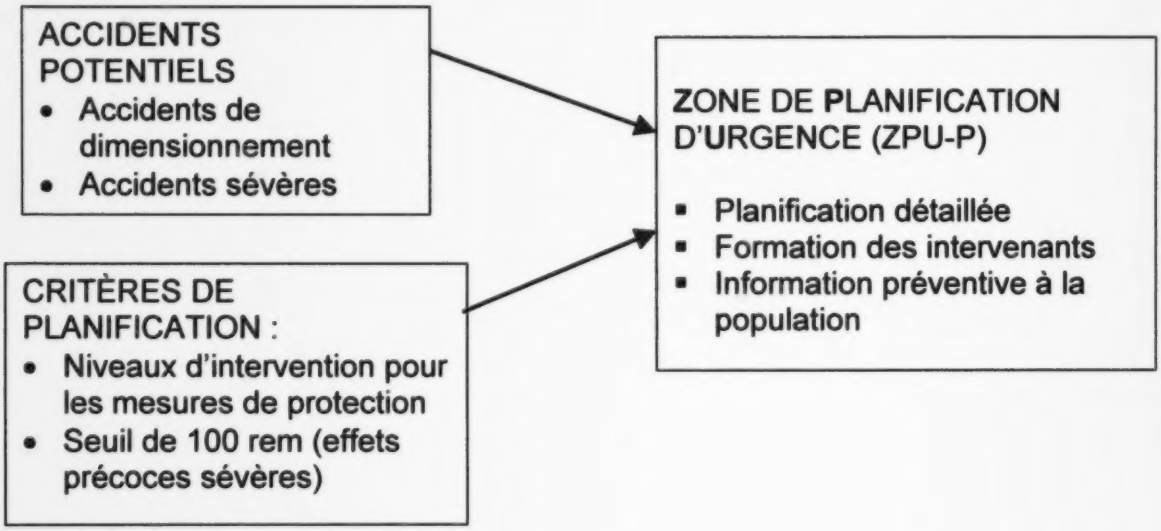
Tableau 4 : Critères de définition des limites de la ZPU-P

Critères	*Objectifs de planification*	*Explications*
Distance où est atteint le niveau d'intervention le plus restrictif des mesures de protection lors de *l'accident limite de dimensionnement*	Limiter les effets stochastiques[23] (effets à long terme comme les cancers et les effets héréditaires potentiels)	▪ Accidents plus fréquents sur une base de défaillance technologique accidentelle (quoique de probabilité très faible) que les accidents sévères ▪ Justifie un effort de planification détaillée
Distance où le seuil des effets précoces sévères (100 rem[24]) est atteint pour le *pire scénario limite d'accident sévère, pour 99 % des conditions météo*	Éviter les effets déterministes sévères (effets à seuil pouvant menacer la santé et entraîner la mort à court terme)	▪ Accidents sévères moins probables, sur la base de défaillance technologique[25] ▪ La planification détaillée, pour des conditions météo rencontrées dans 99% du temps et un calcul en fonction d'un individu moyen, assurera une mise en place de mesure de protection permettant d'éviter les effets déterministes et le risque de décès à court terme ▪ La planification d'urgence régulière des municipalités hors ZPU-P permettra d'étendre l'application des mesures de protection (mise à l'abri, évacuation) dans les zones requises et éviter le maximum d'effets stochastiques

Adapté de IAEA, 1997 et ISR, 2002.

23. Notons que pour l'ensemble des accidents de dimensionnement analysés, les doses sont inférieures à celles associées aux effets déterministes.
24. En pratique, la dose de 100 rem (1 Sv) à l'organisme entier est considérée comme le seuil le plus restrictif des accidents sévères (voir section 1.4).
25. Les attaques terroristes contre le World Trade Center de New York, le 11 septembre 2001, ont amené la CCSN à demander aux centrales nucléaires canadiennes, comme un peu partout dans le monde, de revoir l'impact de tels événements sur les installations. Les études sont en cours présentement et les conclusions de celles-ci pourraient amener une réévaluation des accidents sévères dans la planification d'urgence.

Figure 5 : Méthode de délimitation de la ZPU-P



3.6.3 Nouveaux paramètres pour le calcul de doses

À notre demande, Hydro-Québec a procédé à une mise à jour des calculs pour les accidents de dimensionnement et pour les accidents sévères pour la centrale Gentilly 2 (Hydro-Québec, 2001a). Cette révision est conforme aux recommandations internationales récentes et répond aux besoins que nous avons définis pour la planification dans le cadre du PMUNE G2. Les éléments nouveaux par rapport au *Document de référence* de 1996 sont les suivants :

- Coefficients de doses et paramètres : utilisation de valeurs conformes aux recommandations internationales (IAEA, 1994 et 1999 et CIPR, 1998) et canadiennes sur les coefficients de conversion de dose à utiliser (Santé Canada, 1999).

- Conditions météo :

  ☑ pour les accidents sévères : utilisation des conditions météo historiques mesurées entre novembre 1992 et août 1996, soit environ 130 600 enregistrements. Ces données météo, qui bornent dans 99 % du temps les risques de dépassement des seuils des effets précoces sévères, correspondent aux recommandations de l'AIEA et aux lignes directrices canadiennes ;

  ☑ pour les accidents de dimensionnement, les paramètres que nous retenons sont plus prudents que ceux recommandés par l'AIEA et la CCSN qui sont d'utiliser des conditions moyennes. Ils rejoignent cependant la philosophie de planification adoptée à ce chapitre dans le PMUNE G2, celle appliquée en pratique sur le plan international dans le domaine nucléaire[26] et celle utilisée pour la planification des autres risques

26. Selon les informations recueillies auprès d'ISR (ISR, 2000)

technologiques[27] . Il s'agit d'utiliser des conditions limites (classe de stabilité F et vitesse de vent à 2 m/s[28]) permettant une planification d'urgence pour la pire des situations pouvant se présenter lors d'un accident.

Autres paramètres : d'autres paramètres de calculs ont également été ajustés, tels ceux reliés à l'appauvrissement du panache et des dépôts pour tenir compte de conditions plus réalistes, conformément aux approches utilisées ailleurs, toujours selon les recommandations de l'AIEA.

Utilisation des probabilités : contrairement à d'autres approches comme aux Etats-Unis (USNRC, 1978), et en Afrique du Sud[29] (ISR, 2000) et particulièrement suite aux événements terroristes de New York, nous ne croyons pas pertinent de retenir une approche probabiliste formelle appliquée aux scénarios d'accidents retenus pour la planification d'urgence. Nous considérons tout de même que les accidents sévères sont moins probables que les accidents de dimensionnement et nous considérerons cet élément par le choix des critères de planification et des conditions météo utilisées pour le calcul des doses en fonction des deux catégories d'accidents (dans les deux cas, le critère sera plus restrictif pour les accidents de dimensionnement).

Pour l'accident de dimensionnement limite :

- le critère de planification sera le plus restrictif des niveaux d'intervention pour la mise à l'abri, l'évaluation et la prophylaxie à l'iode stable ;
- les conditions météo utilisées sont les plus restrictives (classe F et vitesse de vents à 2 m/s).

Pour l'accident sévère limite :

- le critère de planification est le seuil des effets déterministes sévères (100 rem ou 1Sv) ;
- les conditions météo utilisées sont la valeur couvrant 99% des conditions météo historiques, tel que déjà discuté.

Nous maintenons ainsi la position adoptée en 1996 dans le *Document de référence*. Cette position concernant les accidents sévères est également plus prudente que celle préconisée pour les autres risques technologiques, où la planification d'urgence est faite en fonction des accidents « plausibles » (l'équivalent d'accidents de dimensionnement) et non en fonction des accidents sévères (Lefebvre, 2000).

---

27. Le Comité mixte municipalités-industriel de la Ville de Bécancour a décidé en janvier 2002 d'utiliser des paramètres restrictifs (classe de stabilité F et vitesse de vents à 1,5 m/s) pour le calcul des « scénarios plausibles », scénarios semblables aux accidents de dimensionnement de la centrale nucléaire.
28. La vitesse de vent de 2 m/s est celle qui maximise les doses à la population (Hydro-Québec, 2001a).
29. Information tirée de la présentation d'ISR devant le COMUN portant sur la définition d'une zone de planification d'urgence pour une centrale nucléaire située en Afrique du Sud (ISR, 2000).

4 SCÉNARIOS D'ACCIDENTS RETENUS POUR LE PMUNE-G2

4.1 Scénario d'accident de dimensionnement limite (ADL)

Le scénario d'accident de dimensionnement limite retenu[30] dans le cadre du PMUNE-G2 est une **perte de caloporteur à la machine de chargement du combustible lorsque déconnectée du réacteur avec indisponibilité du confinement**. Il s'agit d'un accident à cinétique rapide dont les conséquences en termes de doses à la population sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Résultats des calculs de doses pour le scénario de l'accident de dimensionnement limite*

Distance (km)	*Dose projetée (individu critique) à l'organisme entier au centre du nuage*		*Dose projetée (individu critique) à la thyroïde au centre du nuage*	
	rem [mrem]	*(mSv)*	***rem***	*(mSv)*
1	**8,8**	*(88)*	**68**	*(680)*
2	**3,3**	*(33)*	**25**	*(250)*
3	**1,7**	*(17)*	**13**	*(130)*
4	**1,0**	*(10)*	**8,2**	*(82)*
5	**0,7** [700 mrem]	*(7)*	**5,5**	*(55)*
6	**0,51** [510 mrem]	*(5,1)*	**4,0**	*(40)*
7	**0,38** [380 mrem]	*(3,8)*	**3,1**	*(31)*
8	**0,30** [300 mrem]	*(3,0)*	**2,4**	*(24)*
9	**0,24** [240 mrem]	*(2,4)*	**1,9**	*(19)*
10	**0,20** [200 mrem]	*(2,0)*	**1,6**	*(16)*

Source : Hydro-Québec, 2001b, valeurs numériques de la courbe 4-6 de la figure 16 et de la courbe 6 de la figure 17.

* Paramètres météo : classe F, vitesse de vents à 2 m/s et coefficients de calculs de CIPR.

30 Les caractéristiques des rejets sont présentées dans Hydro-Québec 2001a.

4.2 Scénario d'accident sévère limite (ASL)

L'accident sévère limite (ASL) retenu dans le cadre du PMUNE-G2 est le **scénario d'excursion rapide de puissance avec démembrement précoce du cœur et combustion d'hydrogène**. Cet accident faisait partie des scénarios retenus dans le *Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2, Document de référence* du PMUNE G2 (GTMUN,1996). Ses conséquences en termes de doses à la population ont été calculées par Hydro-Québec en fonction des paramètres mentionnés au début de ce chapitre et sont présentées au tableau suivant.

Tableau 6 : Résultats des calculs de doses pour le scénario de l'accident sévère limite *

Distance (km)	*Dose projetée (individu moyen) à l'organisme entier au centre du nuage*	
	rem	*(Sv)*
1	**2 940**	*(29,4)*
2	**971**	*(9,71)*
3	**524**	*(5,24)*
4	**329**	*(3,29)*
5	**231**	*(2,31)*
6	**174**	*(1,74)*
7	**135**	*(1,35)*
8	**107**	*(1,07)*
9	**89**	*(890 mSv)*
10	**76**	*(760 mSv)*

Source : Hydro-Québec, 2001b, valeurs numériques de la courbe 7 de la figure 3.

* Paramètres météo : conditions rencontrées dans 99% du temps, basées sur les valeurs historiques à Gentilly 2 (classe D, environ 3 m/s).

5 NIVEAUX D'INTERVENTION

Dans les plans d'urgence, les **niveaux d'intervention** (NI) sont des critères exprimés en doses ou en débits de dose (dose exprimée par unité de temps) consécutifs à un rejet de matières radioactives et à partir desquels l'application d'une mesure de protection est recommandée. Différents concepts sont rattachés à la notion de dose (dose projetée, évitée, au centre du nuage) et sont expliqués à l'annexe 4.

5.1 Niveaux d'intervention en vigueur jusqu'à maintenant

Les niveaux d'intervention pour les mesures de protection dans le *Document de référence* et le *Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2, Plan directeur* (1996, mise à jour 1999), étaient les suivants :

Tableau 7 : Niveaux d'intervention pour les mesures de protection

Mesure de protection	***Niveaux d'intervention***
Mise à l'abri	≥ 600 mrem (6 mSv), dose projetée, individu critique, au centre du nuage, en 24 heures
Évacuation	≥ 1 rem (10 mSv), dose projetée, individu critique, au centre du nuage, en 24 heures
Prophylaxie à l'iode stable	≥ 10 rem (100 mSv), dose évitée à la thyroïde, individu critique au centre du nuage

Source : Document de référence du PMUNE-G2 (GTMUN, 1996, mise à jour janvier 1999)

Ces niveaux étaient basés sur ceux de l'AIEA (IAEA, 1994). Après révision de leur fondement, qui s'éloigne fondamentalement de notre philosophie de planification d'urgence, il a été convenu de revoir les niveaux d'intervention du PMUNE-G2.

5.2 Recommandations internationales et canadiennes récentes

Le tableau suivant regroupe les recommandations des principaux organismes internationaux ainsi que la récente proposition (document de travail) de Santé Canada (2001) en ce qui concerne les niveaux d'intervention pour les mesures de protection. Il est à noter que les niveaux d'intervention de l'AIEA, de la CIPR et de Santé Canada sont issus d'études coûts-bénéfices avec lesquelles nous ne pouvons être en accord dans le contexte québécois des mesures d'urgence.[31] Le ministère des Affaires sociales, de la Santé publique et de l'Environnement de la Belgique résume bien les fondements de l'approche coûts-bénéfices et il nous paraît utile de présenter cette explication pour en saisir toute la portée.

> « Sur le plan international, il existe une tendance à choisir les niveaux d'intervention en donnant explicitement la priorité aux considérations sociales et économiques : le risque radiologique est traduit en coût pour la société, en affectant une valeur financière au détriment radiologique (différentes approches existent : coût du traitement d'un cancer, perte économique liée à l'espérance de vie). De la même façon, les risques et inconvénients des contre-mesures [mesures de protection] sont convertis en coûts financiers. Pour chaque contre-mesure, on compare alors le gain qu'elle entraînerait en termes de réduction de dose à la population, avec les coûts liés à la contre-mesure. L'intervention est dite « justifiée » quand le bénéfice net est positif pour la société. Le niveau d'intervention est dit « optimisé » quand le bénéfice net est maximal.

31. En effet, la planification des mesures d'urgence pour les risques industriels majeurs, par exemple, se fait en fonction de critères santé et non sur une base de coûts-bénéfices (Lefebvre, 2000).

Le postulat à la base de cette approche est qu'un bénéfice sanitaire obtenu par quelques-uns ne peut rien coûter, « au bilan », au groupe social dans son ensemble.

Le plan d'urgence belge s'écarte de cette approche collective et accorde la priorité, dans la limite du raisonnable, à la protection sanitaire des individus (...) Autrement dit, dans la préjustification à froid des niveaux-guides d'intervention, les facteurs économiques ont été pris en compte, mais certains coûts nets ont été acceptés par la société, par solidarité avec les victimes (réelles et potentielles). Ceci a pour conséquence pratique d'abaisser les niveaux d'intervention. (...) quelles sont les bases du choix des niveaux-guides d'intervention belges ? Ces bases sont essentiellement médicales. »

(Frühling et al., 1998)

Tableau 8 : Comparaison des recommandations internationales et nationales pour les niveaux d'intervention[1]

Mesures de protection	*CIPR (1993)[2] (dose évitée individu moyen au centre du nuage)*	*AIEA (IAEA 1994, 1997)[3] (dose évitée, individu moyen, au centre du nuage)*	*Santé Canada (2001)[4] (dose évitée, individu critique, au centre du nuage)*	*États-Unis, 1992, 2001[5] (dose projetée, individu moyen, au centre du nuage)*
Mise à l'abri	0,5- 5 rem (5-50 mSv) (sur la durée d'application possible)	1 rem (10 mSv) sur ≤ 2 jours (justifiée de ≥ 0,15 à 0,6 rem / jour)	0,5 rem (5 mSv) sur 24 heures	0,1 à 1 rem (1-10 mSv)
Évacuation	▪ 5-50 rem (5-50 mSv) ▪ 500 rem (5 Sv)à la peau (sur maximum 1 semaine)	▪ 5 rem (50 mSv) sur 1 semaine ▪ justifié entre 2 et 8 rem (20-80 mSv) par semaine ▪ NI peut être plus petit pour une durée < 1 semaine	▪ 5 rem (50 mSv) sur une semaine ▪ Retour à la maison si < 1 rem (10 mSv) pour le mois suivant (NI relogement temporaire)	▪ 1-5 rem (10-50 mSv) (le niveau de 1 rem (10 mSv) devrait être utilisé lorsque les conditions le permettent)
Comprimés d'iode **(dose engagée à la thyroïde à vie)**	▪ 50 (500 mSv) rem pour toute la population	▪ 10 rem (100 mSv) thyroïde (niveau unique pour toute la population) ▪ justifié enfants : quelques rem ▪ justifié adultes : quelques dizaines de rem	▪ 10 rem (100 mSv) thyroïde NI unique pour toute la population, dose moyenne	▪ 5 rem (50 mSv) (0-18 ans) ▪ 10 rem (100 mSv) (18-40 ans) ▪ 500 rem (5 Sv) (> 40 ans)

1 Doses efficaces à l'organisme entier, sauf si spécifié autrement.

2 Source : ICRP, 1993.

3 Sources : IAEA, 1994 et IAEA, 1997. Les bases de justification de l'AIEA tiennent sur une évaluation coûts-bénéfices dont les principaux éléments sont présentés à l'annexe 1

4 Santé Canada a produit en 2001 un document de travail visant à « assister les autorités fédérales et provinciales qui doivent décider quand introduire les différentes mesures de protection pour la protection de la santé publique en fournissant des niveaux d'intervention qui peuvent être adoptés par toutes les juridictions et intégrés aux plans spécifiques des mesures d'urgence, lorsque ceux-ci sont révisés ou modifiés. » (page i, traduction)

5 Sources : US-EPA, 1992 et US-FDA, 2001.

5.3 Approche retenue pour le PMUNE-G2

5.3.1 Principes à la base de la définition des niveaux d'intervention

L'orientation que nous préconisons s'appuie sur deux principes généralement acceptés dans le contexte des mesures d'urgence et de la santé publique au Québec : le principe de solidarité sociale et le principe de responsabilité sociale du générateur de risque.

- Le **principe de solidarité sociale**, basé sur des notions d'éthique et d'équité (Beauchamp, 1996 ; Smeesters, 1998), soutient que la société, qui bénéficie de l'activité représentée par la centrale nucléaire[32], accepte de partager les coûts liés à l'atténuation des risques, dont ceux reliés à la planification et à l'implantation des mesures de protection pour la population exposée en cas d'accident.

- La compensation pour les coûts d'application des mesures de protection ne devrait pas, à notre point de vue, être traduite en dose à recevoir par la population, tel que le sous-tendent les approches risques-bénéfices préconisés par l'AIEA et la CIPR. Ces coûts devraient plutôt être assumés par l'exploitant (Hydro-Québec, dans le cas de la centrale Gentilly 2), en vertu d'un principe que l'on pourrait qualifier de **« responsabilité sociale du générateur de risque »**[33], par l'intermédiaire des assurances responsabilité qui sont exigées des exploitants de l'ensemble des centrales nucléaires au Canada. Par ailleurs, des mécanismes gouvernementaux de compensation sont prévus pour les dépassements de couverture de ces polices d'assurance.

5.3.2 Aspects risques-bénéfices à la santé et niveau de protection raisonnable

Nous recommandons d'utiliser une approche *risques-bénéfices à la santé* pour définir les niveaux d'intervention. En fonction de cette approche :

- Seuls les risques à la santé physique reliés à l'application des mesures de protection seront pris en compte pour définir la **dose évitée minimale** dans le processus de justification de la mesure de protection et assurer ainsi un bénéfice à la population visée. On s'assure ainsi qu'une mesure de protection *ne causera pas plus de torts à la santé qu'elle n'en préviendra.*

---

32. Rappelons que la centrale nucléaire Gentilly 2 produit environ 3 % de l'électricité consommée au Québec annuellement.

33. Ce principe se rapproche de celui du « pollueur-payeur » reconnu et promu par les gouvernements dans les problématiques environnementales, mais le complète en apportant une vision élargie et proactive liée à la participation du générateur de risque. Celui-ci devient un collaborateur engagé, de concert avec les autorités municipales et gouvernementales, aux activités ayant trait à la planification d'urgence et à la communication à la population (voir aussi à ce sujet le rapport sur la *Mission québécoise sur la prédistribution des comprimés d'iode* produit par la Régie régionale en 2002 et les *Principes directeurs d'une gestion responsable* de l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques http://www.ccpa.ca/french/who/index.html).

- La notion de « niveau de protection raisonnable » sera définie par l'application d'un **critère de dose résiduelle maximale.** Il s'agit d'une dose que la population peut recevoir (avant l'application d'une mesure de protection ou malgré l'application de celle-ci) sans induire de risque indu à la santé publique (le risque « zéro » ne constituant pas un objectif réaliste, puisque l'on est déjà exposé à des sources de rayonnements de différentes natures – sources naturelles, médicales, différents appareils (TV) etc. pour une dose annuelle moyenne d'environ 300 mrem (3 mSv) au Canada). Cette dose résiduelle s'exprimera en dose projetée, puisque avant l'application d'une mesure, la dose résiduelle est égale à la dose projetée (voir figure 6).

5.3.3 Définition de la dose évitée minimale

L'application de certaines mesures de protection induit des risques. Pour assurer un bénéfice à la santé pour la population visée par l'application des mesures de protection, il faut que le risque évité par une mesure soit supérieur au risque relié à son application. Les risques reliés aux mesures de protection sont énumérés au tableau 9.

Tableau 9 : Risques associés à l'application des mesures de protection

Mesures de protection	*Risques*
Mise à l'abri	Aucun risque significatif lorsque appliqué dans des conditions relativement normales
Évacuation	Risque d'accidents avec blessures et décès lors du trajet routier Équivaut à une dose d'environ 18 mrem (0,18 mSv) à l'organisme entier pour les enfants (0-20 ans) et 62 mrem (0,62 mSv)[2] à l'organisme entier pour les adultes.
Comprimés d'iode	Risque d'effets secondaires associés à la prise des comprimés (réactions allergiques, dysfonctionnement de la glande thyroïde) ▪ Enfants (0-20 ans) : très faible, même pour des doses répétées (1 sur 10 millions par dose d'iode stable) ⇒ équivaut à une dose d'environ 10 mrem (0,1 mSv) à la thyroïde[1] ▪ Adultes (> 20 ans) : très faible (1 sur un million) pour une dose d'iode stable, augmente avec des doses répétées ⇒ équivaut à une dose de quelques centaines de mrem

1. Ces données sont tirées de WHO, 1999.
2. Calculs effectués selon la méthode de l'EPA (USEPA, 1991) adaptée en fonction des données québécoises (risques de blessures sévères en fonction de la distance parcourue) et des facteurs de risque reconnus actuellement (5 cancers mortels par 10 000 personnes exposées à un rem à l'organisme entier).

5.3.4 Définition du critère de dose résiduelle

L'accident de Tchernobyl a mis en évidence une augmentation des cancers de la glande thyroïde chez les enfants âgés de 0 à 15 ans au moment de l'exposition. La dose à laquelle l'augmentation est la plus manifeste est de *5 rem (0,05 Sv) à la thyroïde* (OMS, 1999 ; USFDA, 2001). C'est la première fois qu'une relation nette est établie entre l'exposition d'une population à de faibles doses de rayonnements, suite à un accident nucléaire, et l'apparition de cancers dans la population exposée. **Nous estimons que la dose de 5 rem (0,05 Sv) à la thyroïde de l'enfant est une base de planification pertinente pour développer les mesures de protection de la phase initiale.**

Pour la protection de la glande thyroïde vis-à-vis un risque de cancer dont la preuve est maintenant établie, nous retenons le niveau d'intervention de 5 rem (0,05 Sv) à la thyroïde pour l'individu critique au centre du nuage. L'ensemble de l'analyse sur ce point est présentée dans les *Lignes directrices sur l'utilisation des comprimés d'iode stable* (Grenier, 2002).

En fonction d'une exposition à un nuage consécutif à un accident où l'iode radioactif constitue un élément important (comme plusieurs des accidents de dimensionnement pouvant survenir à Gentilly 2), les doses à l'organisme entier, pour l'individu critique, seront environ 8 à 10 fois plus petites que les doses à la thyroïde (Hydro-Québec, 2001b)[34]. Le critère de dose résiduelle de 5 rem (0,05 Sv) pour la thyroïde correspond à environ 0,5 rem (500 mrem ou 5 mSv) à l'organisme entier, qui devient notre critère de dose résiduelle maximale à l'organisme entier[35].

À titre indicatif, le tableau 11 présente quelques exemples de doses reçues lors d'examens médicaux et de façon naturelle.

Tableau 10 : Exemples de doses reçues de sources médicales et naturelles

Source	*Dose*[1]
Radiographie pulmonaire	0,015 rem (15 mrem ou 0,15 mSv)
Radiographie de l'estomac (repas baryté)	0,5 rem (500 mrem ou 5 mSv)
Examen diagnostic de la glande thyroïde pour un enfant	2 rem (20 mSv) à la thyroïde)
Dose annuelle moyenne provenant de sources naturelles pour la population canadienne	0,2 rem (200 mrem ou 2 mSv))

34. Les facteurs utilisés par Hydro-Québec sont ceux recommandés par la CIPR (ICRP, 1998) et Santé Canada (1999).

35. Ce niveau de 0,5 rem correspond également à une modalité d'application de la limite annuelle de 0,1 rem *en situation normale* préconisée par la CIPR (ICRP, 1991). En effet, celle-ci stipule que la limite de 0,1 rem par année peut être dépassée une fois dans 5 ans dans des circonstances exceptionnelles, en autant que la moyenne annuelle pondérée sur ces 5 années soit inférieure à 0,1 rem. Comme les rejets de la centrale Gentilly 2, en situation normale, sont de l'ordre de 0,001 rem par année, la valeur de la limite en situation exceptionnelle sur 5 ans est donc de 0,5 rem. Bien que ce critère n'aie pas au départ été conçu pour la planification d'urgence, il apparaît logique de vouloir protéger la population lorsque les doses sont supérieures aux limites appliquées en situation normale.

Dose annuelle moyenne provenant de sources médicales pour la population canadienne	0,1 rem (100 mrem ou 1 mSv)

Sources : UNSCEAR, 2000, Santé Canada et CCEA, 1998

1 Exprimée en dose efficace à l'organisme entier, sauf pour la dose à la thyroïde.

5.4 Niveaux d'intervention pour le PMUNE G2

Le tableau 11 fait état des niveaux d'intervention retenus pour le PMUNE G2 pour les mesures de protection. Pour la prophylaxie à l'iode stable et la mise à l'abri, la dose projetée est égale à la dose résiduelle, parce que la dose totale est reçue avant application de ces mesures. Pour l'évacuation cependant, la dose résiduelle est calculée après application de la mise à l'abri, avec un facteur moyen de protection de 50% (voir figure 6).

Tableau 11 : Niveaux d'intervention retenus pour le PMUNE-G2 pour les mesures de protection de la phase initiale

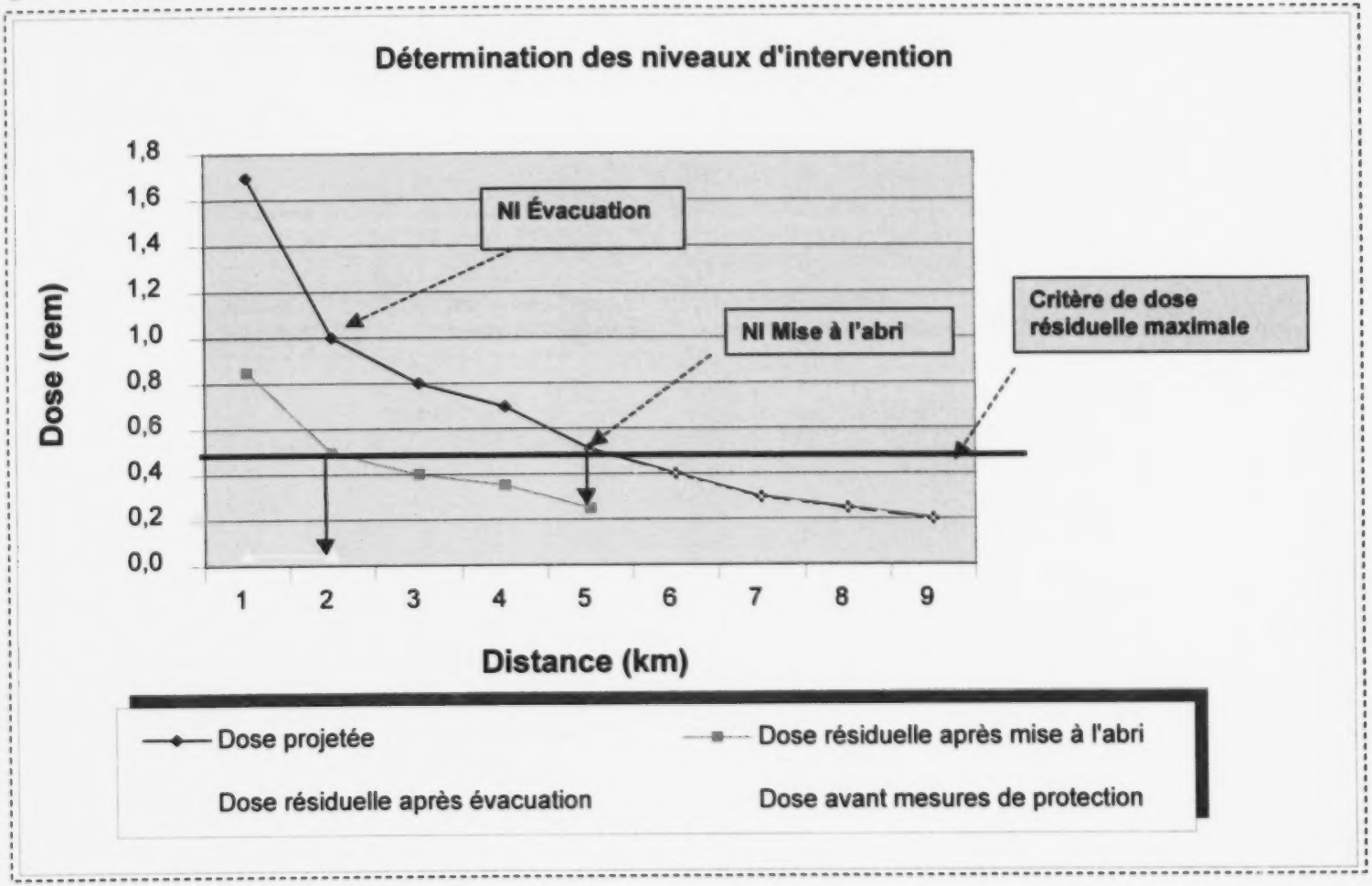
Mesures de protection	Doses évitées minimales selon les risques à l'application (dose au centre du nuage)	Critères de dose résiduelle (dose au centre du nuage)	Niveaux d'intervention en dose projetée au centre du nuage[1] (temps d'intégration)	Critères de levée de la mesure
Mise à l'abri	~ 0	500 mrem (5 mSv) individu critique	≥ **500 mrem** (5 mSv) à l'organisme entier, individu critique (durée de la phase initiale)	• durée maximale dépassée (environ 2-3 heures) • Doses à venir en phase intermédiaire < niveau d'intervention relogement temporaire
Évacuation	Risque d'effets sévères (accidents avec blessures) ⇓ ~ 20 mrem individu critique ~ 60 mrem individu moyen (adulte)	500 mrem (5 mSv) dose résiduelle individu critique après mise à l'abri (efficacité moyenne de 50 %)	≥ **1 rem** (1 000 mrem ou 10 mSv) à l'organisme entier, individu critique (durée de la phase initiale)	• Phase initiale terminée • Durée maximale d'application atteinte (7 jours) • Doses à venir < < niveau d'intervention relogement temporaire
Comprimés d'iode 0-18 ans	10E-7 effets sévères ⇓ ~10 mrem à la thyroïde	5 rem (50 mSv) individu critique	≥ **5 rem** (50 mSv) dose engagée à **la thyroïde**, individu critique, par voie d'inhalation (durée prévue de la phase initiale)	• Enfants 0-18 ans (doses multiples possibles) : dose quotidienne à venir < 5 rem à la thyroïde individu critique par voie d'inhalation jusqu'à la fin de la phase initiale • Adultes[3], femmes enceintes, nouveau-nés : une seule dose
Comprimés d'iode[2] 19-40 ans Comprimés d'iode > 40 ans	10E-6 effets sévères ⇓ quelques centaines de mrem à la thyroïde, adultes	Non déterminé en raison du faible risque de cancer		

1 L'application de ces niveaux d'intervention devrait tenir compte de la dose potentielle à recevoir et de la dose déjà reçue.

2 Pour les modalités d'application de la mesure pour les intervenants d'urgence, voir *La protection du personnel d'urgence* (Grenier, 2002, document de travail).

3 Sauf dans le cas des travailleurs d'urgence, pour qui un dépistage systématique des contre-indications est prévu.

Figure 6 : Application du critère de dose résiduelle pour la mise à l'abri et l'évacuation



5.4.1 Limites à l'utilisation des niveaux d'intervention

Les niveaux d'intervention sont définis en fonction de conditions d'application favorables et pour les groupes pouvant bénéficier de l'application de ces mesures de protection. Il existe des circonstances où le bénéfice pour la population diminue fortement ou peut même disparaître.

- Circonstances reliées aux conditions des personnes :
  - ☑ les malades pour qui l'application de l'évacuation met à risque leur vie ou leur santé de façon importante (ex. : malades aux soins intensifs, atteinte grave de l'état général) ;
  - ☑ les personnes âgées de plus de 40 ans qui ont davantage d'effets secondaires liés à des doses répétées d'iodure de potassium pour la prophylaxie à l'iode stable[36].
- Circonstances reliées à l'environnement :
  - ☑ intempéries tel un verglas ou une tempête de neige qui augmentent le risque de blessures sévères ou de décès lors d'une évacuation.

Pour ce type de situation, Santé Canada mentionne « qu'en pareil cas, le critère de dose pour l'évacuation peut être augmenté considérablement sans pour autant atteindre un seuil déterministe, quoiqu'il faille équilibrer le risque accru d'effets stochastiques au risque physique associé à l'évacuation même ». (Santé Canada 2001, page 10)

Les objectifs suivants devraient être visés pour l'application de niveaux d'intervention pour les situations exceptionnelles (il s'agit des doses résiduelles, donc à évaluer après avoir appliqué le facteur de protection de mise à l'abri) :

- limiter la dose au *fœtus (femmes enceintes)* sous les **10 rem (100 mSv);**
- limiter *dans la mesure du possible* les doses sous le seuil des effets prodromaux (nausées, vomissements, baisse des globules blancs qui apparaissent autour de 25 rem) : **20 rem (200 mSv)**[37];
- limiter *dans tous les cas* les doses sous les seuils d'effets précoces sévères : **100 rem (1 Sv).**

6 DIMENSION DE LA ZPU-P POUR LE PMUNE G2

Il a été déterminé par le Comité de gestion du PMUNE-G2[38] que la ZPU-P serait déterminée à partir du critère le plus limitatif des deux catégories d'accident retenues :

---

36. Voir *Lignes directrices pour l'utilisation de l'iode stable* (Grenier 2002).
37. Ce niveau, au-dessus duquel les doses sont considérées élevées, est également celui où la preuve de cancer (sauf celui de la thyroïde) est établie (UNSCEAR, 1993, cité dans Santé Canada, 1998).
38. Voir compte rendu de la 16e rencontre du Comité de gestion, le 16 octobre 2001.

- Pour l'accident de dimensionnement limite (ADL), nous retiendrons la distance la plus éloignée où les niveaux d'intervention pour les mesures de protection sont atteints ou dépassés.
- Pour l'accident sévère limite (ASL), il s'agit de déterminer la distance où le seuil des effets précoces sévères est atteint ou dépassé.

Tableau 12 : Distance d'atteinte ou de dépassement des critères selon les accidents limites par catégorie d'accident

Types d'accident	*Mesures de protection*	*Critères de dose pour la définition de la ZPU-P* *Doses projetées au centre du nuage*	*Distance d'atteinte ou dépassement*[1]
Accident de dimensionnement limite (ADL)		***Niveaux d'intervention***	
	Évacuation	1 rem organisme entier (individu critique)	4 km
	Mise à l'abri	500 mrem organisme entier (individu critique)	6 km
	Prophylaxie à l'iode stable	5 rem thyroïde (individu critique)	6 km
Accident sévère limite (ASL)		***Seuil d'effets déterministes sévères***[2]	
		100 rem organisme entier (individu moyen)	8 km

[1] Selon les calculs de doses effectués par Hydro-Québec (2001) et les critères définis par le Comité des mesures d'urgence nucléaire (COMUN)

[2] Ce seuil n'est pas un niveau d'intervention, mais un critère de planification. Pour tous les types d'accidents, y compris les accidents sévères, les niveaux d'intervention sont les mêmes et doivent être appliqués quelle que soit la distance où il sont atteints.

Recommandation : La limite de la ZPU-P est définie à une distance minimale (rayon) de 8 km par rapport à la centrale Gentilly 2.

7 PLANIFICATION DES MESURES DE PROTECTION

Le tableau suivant illustre les besoins de planification des mesures de protection dans la ZPU-P et, au-delà de celle-ci, en fonction des accidents potentiels.

Tableau 13 : Distance d'atteinte ou de dépassement des critères selon les accidents limites par catégorie d'accident[1]

	Mesures de protection	*Critères de dose pour la planification détaillée dans la ZPU-P*	*ZPU-P (besoins de planification détaillée)*	*Critères de dose pour l'application des mesures de protection hors ZPU-P (= Niveaux d'intervention)*	*Distances potentielles d'application de mesures de protection hors ZPU-P*	*Modalités de planification hors ZPU-P*
		Niveaux d'intervention				
Accidents de dimensionnement ⇩ conditions météo limites	Évacuation	1 rem organisme entier (individu critique)	4 km	N/A	N/A	N/A
	Mise à l'abri	500 mrem organisme entier (individu critique)	6 km	N/A	N/A	N/A
	Prophylaxie à l'iode stable	*5 rem thyroïde (individu critique)*	*6 km*	N/A	N/A	N/A
Accidents sévères ⇩ conditions météo moyennes	Évacuation	***Seuil d'effets déterministes sévères*** 100 rem organisme entier (individu moyen)	8 km	1 rem organisme entier (individu critique)	> 50 km	Plans d'urgence génériques des municipalités
	Mise à l'abri			500 mrem organisme entier (individu critique)	> 50 km	
	Prophylaxie à l'iode stable	Ne s'applique pas Pas d'effets déterministes sévères		*5 rem thyroïde (individu critique)*	> 50 km	Accès à des réserves de comprimés d'iode et distribution dans les 4-6 heures
Distances de planification			8 km		> 50 km	

1. Les éléments concernant la planification dans la zone au-delà de la ZPU-P sont présentés à titre d'intrants à la réflexion sur les besoins de planification pour les accidents sévères.

7.1 Planification requise dans la ZPU-P

Rappelons que la ZPU-P est le territoire autour de la centrale nucléaire où une ***préparation détaillée*** est nécessaire afin de garantir une intervention rapide et efficace pour protéger la population lors du passage d'un panache (nuage) de matières radioactives lors d'un accident.

Cette planification détaillée comprend les éléments essentiels assurant que :

- les municipalités concernées sont en mesure d'appliquer les mesures de protection prévues dans leur planification (ex. : avoir un système d'alerte et mobilisation à jour, un système de notification de la population fonctionnel, un plan d'évacuation complet) ;
- la population et les intervenants clés (ex. : personnel des CLSC, médecins, policiers) reçoivent une information détaillée sur les mesures de protection à appliquer en cas d'accident avec rejets radioactifs (rappelons toutefois que le programme d'information ne doit pas se limiter au seul territoire de la ZPU-P) ;
- le personnel d'urgence reçoit une formation spécialisée de façon continue ;
- le support gouvernemental est prêt à être mis en œuvre ;
- des exercices réguliers permettent de tester et d'améliorer le PMUNE-G2.

La délimitation géographique exacte de la ZPU-P sera définie avec les responsables municipaux en fonction de la configuration du territoire et des références connues de la population concernée. Les modalités opérationnelles de subdivision en secteurs et de mise en œuvre des mesures devront également être établies avec les représentants municipaux. Toutefois, le territoire réel couvert par la ZPU-P devra respecter la dose minimale à éviter pour assurer un bénéfice net des mesures de protection pour l'accident de dimensionnement limite. En ce sens, pour les accidents de dimensionnement, le bénéfice santé demeure présent pour les mesures de protection jusqu'à une distance d'environ 12 km de la centrale[39].

7.1.1 Population concernée par la ZPU-P

La zone de 8 km autour de la centrale comprend les mêmes municipalités que la ZPU-P en vigueur jusqu'à maintenant et qui était définie avec un rayon minimal de 7 km définie en 1995, soit la Ville de Bécancour (secteurs Bécancour et Gentilly), sur la rive sud du St-Laurent, sur le territoire de laquelle se trouve la centrale Gentilly 2, ainsi que le secteur Ste-Marthe-du-Cap de la ville de Trois-Rivières et la municipalité de Champlain sur la rive nord. La carte géopgraphique qui suit ainsi que le tableau 14 illustrent la configuration et la composition de la ZPU-P.

---

39. La mesure où le bénéfice s'estompe le plus rapidement est l'évacuation, où la dose projetée devient inférieure à la dose minimale à éviter (62 mrem ou 0,6 mSv) après environ 10 km de la centrale, pour l'ADL en conditions météo limites.

Figure 7 : Carte de la ZPU-P

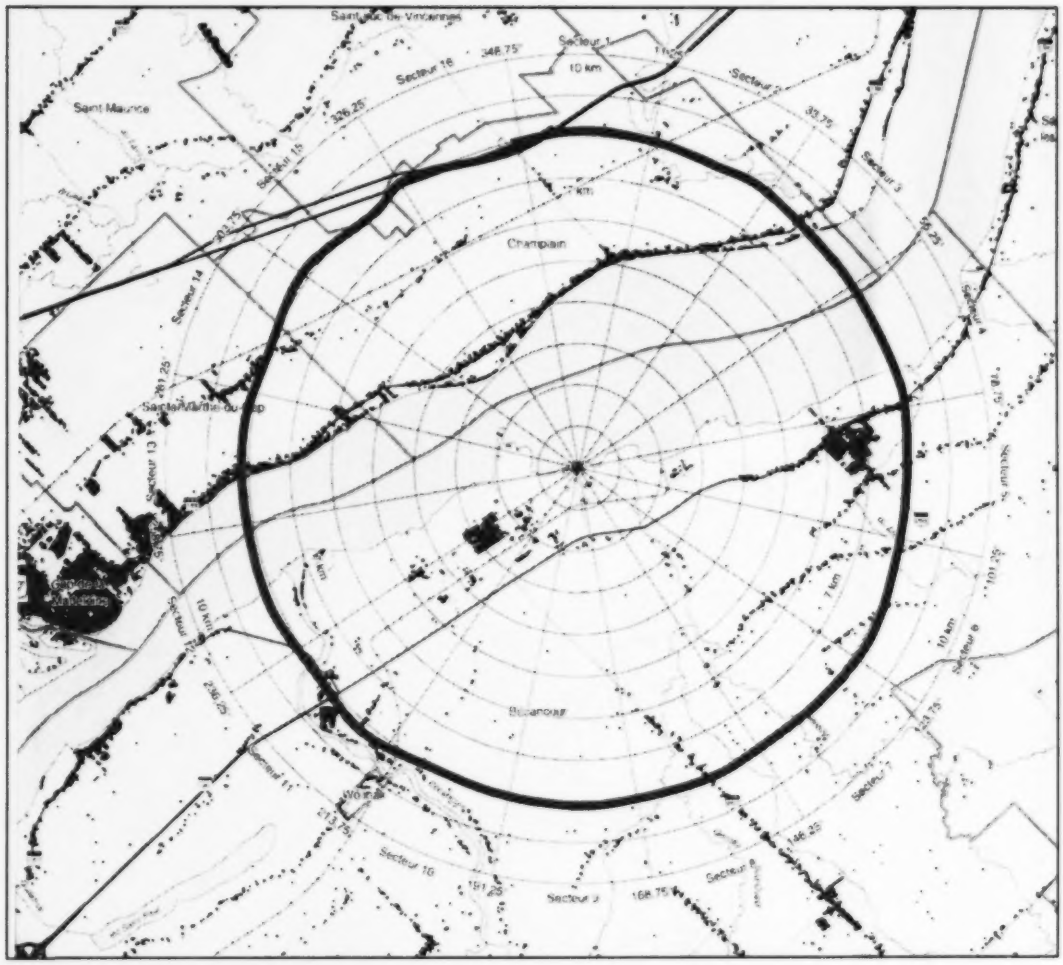


Tableau 14 : Population totale des municipalités et secteurs municipaux compris dans la ZPU-P

Municipalité	*Secteurs*	*Population*
Ville de Bécancour	Secteur Bécancour	1 077
	Secteur Gentilly	3 187
	Parc industriel et portuaire de Bécancour	2 900
Trois-Rivières	Ste-Marthe-du-Cap (en partie)	910
Champlain		1 775
TOTAL :		**9 849**

Sources : *Plan d'urgence intégré*, Ville de Bécancour (2000) pour les données du Parc industriel, *Recensement 1996* (Champlain et Ste-Marthe-du-Cap), Ville de Bécancour, 1997, pour les secteurs de Ville de Bécancour.

7.1.2 Modalités d'application de l'alerte et des mesures de protection

L'application des mesures de protection devra tenir compte de différents paramètres :

- délais entre la relâche et l'exposition de la population ;
- vitesse des vents et autres paramètres météorologiques ;
- conditions routières ;
- degré de préparation des municipalités et organismes gouvernementaux ;
- zone minimale d'application (les mesures de protection sont appliquées sur une zone d'au moins 90°, soit 45° de chaque côté du centre du nuage) ;

Selon l'évolution de la situation, l'application des mesures de protection peut être étendue à des zones supplémentaires, mais il n'est pas recommandé, en phase initiale, de suspendre l'application de mesures dans une zone où elles avaient été implantées (EPA, 1992).

7.1.3 Alerte à la population

Dans le cas des accidents à cinétique rapide, la mise en place d'un ***système d'alerte rapide*** (sirène, systèmes radio, alarmes téléphoniques, etc.) est essentielle à l'implantation des mesures de protection, à cause des délais très réduits entre la relâche et l'exposition de la population. Cet élément doit être étudié et implanté en priorité par les municipalités.

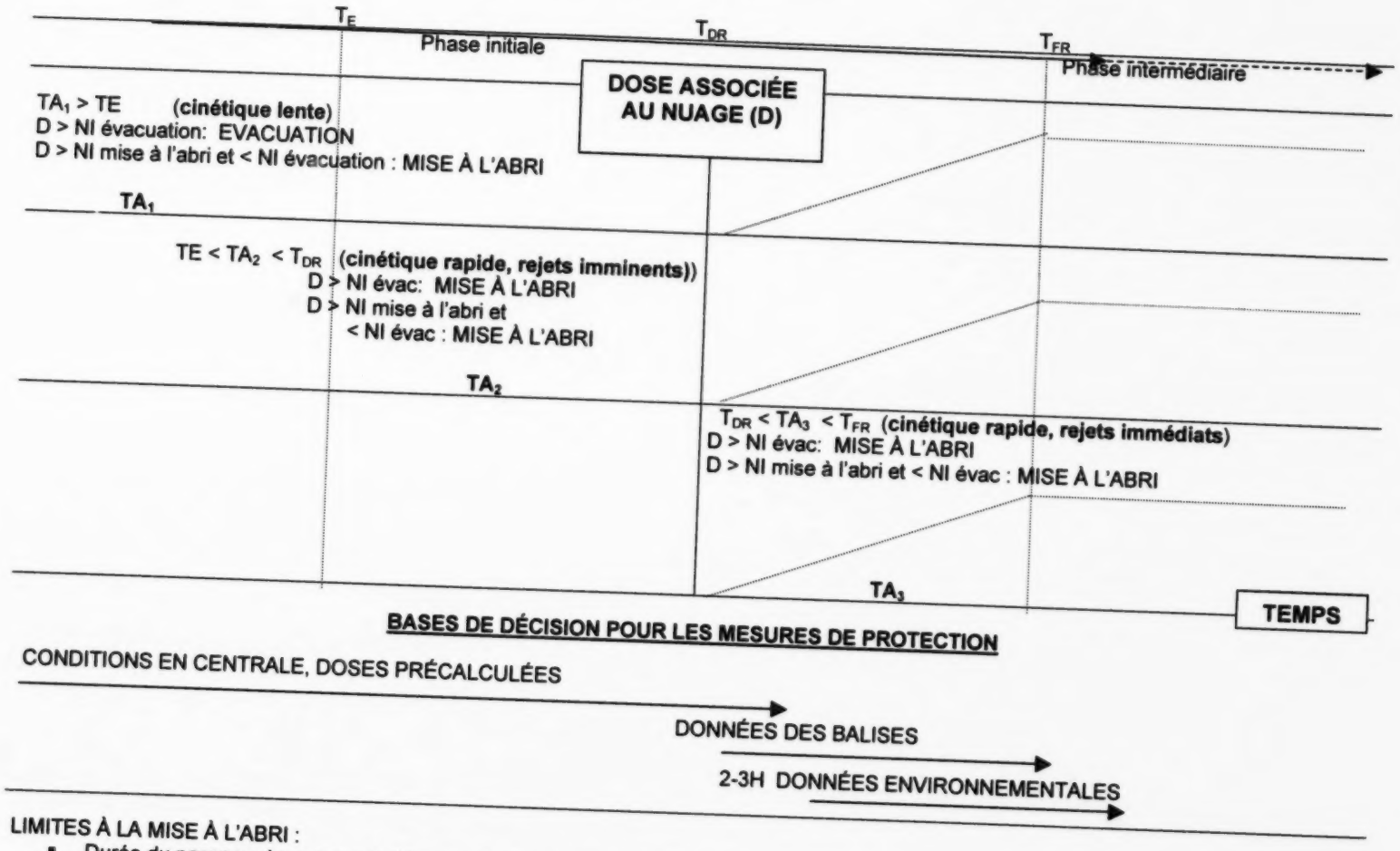
7.1.4 Mise à l'abri et évacuation

La US-EPA fait les recommandations suivantes concernant l'application de la mise à l'abri et de l'évacuation :

- pour les accidents sévères pouvant impliquer de fortes doses, l'évacuation (même sous le nuage) peut être la seule mesure efficace à proximité de la centrale pour limiter les effets précoces. Dans un tel cas, les doses reçues lors de l'évacuation n'occasionneraient pas plus d'effets précoces que celles reçues durant la mise à l'abri ;
- pour les accidents de dimensionnement, l'évacuation peut augmenter l'exposition lorsque appliquée sous le nuage, particulièrement pour les accidents où les doses par inhalation sont les plus importantes ;
- l'évacuation est également la mesure appropriée pour les zones où les doses consécutives aux dépôts sont élevées ;
- la mise à l'abri :
  - ☑ est utile pour informer la population ;
  - ☑ n'est pas appropriée lorsque le passage du nuage peut durer au-delà de deux changements d'air (~ 2-3 heures) ;
  - ☑ peut être l'intervention de choix lorsque l'évacuation rapide n'est pas possible en raison :
    a) de délais non disponibles entre la relâche et l'exposition de la population (accidents à cinétique rapide),
    b) de conditions environnementales défavorables ou de voies d'évacuation non disponibles,
    c) de conditions de santé précaire des personnes à évacuer,
    d) d'autres contraintes (ex. : travailleurs essentiels de certaines industries ne pouvant être rapidement évacués sans risque à la population).

Les différentes situations d'application de la mise à l'abri et de l'évacuation sont illustrées dans la figure suivante, de même que les données disponibles pour la prise de décision. Comme illustré dans cette figure, les seules situations où des données environnementales pourraient être utilisées pour réajuster les décisions relatives à la mise à l'abri et à l'évacuation sont celles où l'alerte suit le début des rejets. En pareil cas, la mise à l'abri sera la première mesure à privilégier, tout en tenant compte de ses limites d'application.

Figure 8 : Application des mesures de protection selon le temps d'alerte



BASES DE DÉCISION POUR LES MESURES DE PROTECTION

CONDITIONS EN CENTRALE, DOSES PRÉCALCULÉES

DONNÉES DES BALISES

2-3H DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

LIMITES À LA MISE À L'ABRI :

- Durée du passage du nuage > 2-3 heures (facteur de protection < 50%)
- Doses pouvant atteindre les seuils d'effets déterministes malgré mise à l'abri (10 rem au fœtus)

TA : Temps d'alerte (moment de réception de l'alerte par l'ORSC)
TE : Temps d'évacuation (déterminé selon les plans d'urgence municipaux et de la Sûreté du Québec)
T_{DR} : Temps de début des rejets T_{FR} : Temps de fin des rejets NI = niveau d'intervention

7.1.5 La prophylaxie à l'iode stable

L'annexe 3 présente les recommandations concernant la planification de la prophylaxie à l'iode stable. Au point de vue opérationnel, l'application de cette mesure devrait tenir compte des éléments suivants :

- Lorsque indiquée, pour fins de simplification, la mesure devrait être appliquée dans la même zone que la mise à l'abri ;
- elle devrait être appliquée à l'ensemble de la population (tous groupes d'âge), pour **une seule dose** ;
- l'évacuation devrait être envisagée lorsque le niveau d'intervention pour la prophylaxie à l'iode stable est dépassé sur une période de plus de 24 heures ;
- l'administration dans les centres de réception pour les évacués susceptibles d'avoir reçu une dose à la thyroïde supérieure au niveau d'intervention et n'ayant pas pris de comprimé d'iode peut être utile, jusqu'à environ six heures après exposition, particulièrement chez les enfants, afin d'assurer une dose résiduelle maximale à la thyroïde inférieure à 5 rem.

7.2 Planification hors de la ZPU-P

La ZPU-P couvre l'ensemble des accidents de dimensionnement et l'application des mesures de protection selon les niveaux d'intervention déterminés. Pour les accidents sévères cependant, compte tenu de leur faible probabilité, il a été déterminé que *l'objectif de la planification détaillée* pour la ZPU-P sera de limiter les doses sous le seuil des effets déterministes sévères. S'il survient effectivement un accident sévère, cependant, le besoin d'application des mesures de protection, selon les niveaux d'intervention, se fera sentir bien au-delà de la ZPU-P. Les distances où les mesures d'évacuation et de mise à l'abri, de même que la prophylaxie à l'iode stable seront requises pourraient dépasser les 50 km, même pour des conditions météo moyennes. Il a été convenu jusqu'à maintenant, pour le PMUNE G2, que la planification générique des municipalités situées au-delà de la ZPU-P (celle qui doit être faite en fonction des risques sur leur territoire, qu'ils soient d'origine naturelle, technologique ou autres) permettrait l'extension des mesures de protection communes à tous les risques que sont la mise à l'abri et l'évacuation, en cas d'accident nucléaire sévère. Nous n'avons pas observé de position différente dans d'autres pays, que ce soit aux États-Unis ou en Europe. Cette position est également en concordance avec celle préconisée pour la planification d'urgence en fonction des autres risques technologiques.

Quant à la prophylaxie à l'iode stable pour les accidents sévères, les lignes directrices mentionnent que « Les moyens d'accès à des stocks de comprimés pour la population dans la zone où le niveau d'intervention pour la prophylaxie à l'iode stable serait atteint en cas d'accident sévère devraient faire l'objet d'une analyse tenant compte des impératifs de protection de la santé publique et d'une éventuelle mise en application. Parmi les moyens documentés, notons les ententes entre pays ou provinces et la constitution d'un inventaire centralisé ou décentralisé. » (Grenier, 2002, p. 39) Cette

position est conforme à celle adoptée dans plusieurs pays européens, tel que précisé dans le même document.

CONCLUSION

Le présent document se veut une mise à jour des bases de planification du PMUNE-G2. Il vise à harmoniser celles-ci à l'approche québécoise de santé publique et aux recommandations internationales et canadiennes les plus récentes. Les éléments suivants ont fait l'objet de cette mise à jour :

- l'inclusion des accidents sévères dans la définition de la ZPU-P, sur la base des nouvelles recommandations, avec révision de leur définition et des calculs de doses en fonction de paramètres plus appropriés ;
- la redéfinition de l'accident de dimensionnement limite (ADL) ;
- de nouveaux calculs de doses en fonction de paramètres réajustés en fonction des recommandations récentes ;
- la révision des niveaux d'intervention pour les mesures de protection sur la base d'une approche risques-bénéfices santé ;
- un réajustement de ZPU-P pour le PMUNE-G2, redéfinie selon un rayon minimal de 8 km.

ANNEXE 1 : Calculs des coûts et bénéfices des mesures de protection selon l'AIEA (IAEA, 1994)

L'AIEA utilise une approche coûts-bénéfices pour la définition des niveaux d'intervention en se basant sur les hypothèses suivantes[40] :

- pour la plupart des conditions, au moins autant d'efforts et de ressources seront investis pour diminuer les effets sur la santé reliés à l'exposition aux rayonnements que pour d'autres risques d'amplitude et de nature similaires ;
- les risques physiques « normaux » reliés à l'application des mesures de protection sont pris en compte ;
- le dérangement relié à l'application des mesures est lui aussi pris en compte ;
- les facteurs de nature sociopolitique, psychologique ou culturelle sont exclus ;
- les niveaux d'intervention génériques sont consistants, simples à comprendre et à appliquer.

40. Il faut considérer que cet organisme s'adresse à l'ensemble des pays où se trouvent des centrales nucléaires, donc de cultures et de statuts socio-économiques différents.

Mesures de protection	*Coûts*	*Bénéfices (dose évitée)*
Mise à l'abri	Risque physiques reliés à l'application : nul	Produit national brut par individu : 10 000 $ à 40 000 $ ⇓ à 10 000 $ à 40 000 $ / pers-100 rem (coût d'un décès par rapport à une exposition aux rayonnements) ⇓ 0,15 à 0,6 rem / jour (1,5 à 6 mSv / jour)
	Coûts monétaires : ▪ Perte de revenus : 55 $/jour	
Évacuation	Risques reliés à l'application : négligeable	100-125 $/jour/ 10 000 à 40 000 $/pers-100 rem ⇓ 0,3 à 1,2 rem /jour (3 à 12 mSv / jour)
	Coûts monétaires : ▪ Perte de revenus : 55 $/jour ▪ Transport :quelques dizaines de $ ▪ Logement/nourriture : quelques dizaines de $ par jour ▪ Total : 100-125 $/jour	
Comprimés d'iode	Risques reliés à l'application (effets secondaires) : ▪ Enfants : 10E-7 ▪ Adultes : - Risque de décès : 10E-9 - Risque d'effets sévères : 10E-6 à 10E-7	Enfants : 10E-7/dose Adultes : ⇓ Enfants : quelques centaines de mrem thyr. Adultes : quelques dizaines de rem thyr. ⇓ Pour des raisons pratiques, un seul niveau déterminé pour l'ensemble de la population : 10 rem à la thyroïde (100 mSv)
	Coûts : négligeables	
	Coûts : ▪ Transport : quelques centaines de $ ▪ Perte de revenus : quelques dizaines à quelques centaines de $ par mois ▪ Logement : 1 000 $ à 2 000 $ par mois ▪ Dépréciation/entretien : plusieurs dizaines de $ par mois	

ANNEXE 2 : Niveaux d'intervention pour les mesures de protection ailleurs dans le monde

Pays/organismes	*Mise à l'abri*	*Évacuation*	*Comprimés d'iode* *(dose à la thyroïde)*
AIEA (dose évitée, individu moyen, centre du nuage)	1 rem / 2 jours	5 rem / 7 jours	10 rem
CIPR (dose évitée, individu moyen, centre du nuage)	0,5-5 rem	5-50 rem	5-50 rem
Santé Canada (dose évitée, individu moyen, centre du nuage)	0,5 rem 1 jour	5 rem 7 jours	10 rem
Ontario (dose projetée, individu critique, centre du nuage)	0,1-1 rem	1-10 rem	10-100 rem
Nouveau-Brunswick (dose évitée)	1 rem	5 rem	10 rem (dose à l'individu critique)
France (dose projetée, individu critique, centre du nuage)	1 rem	5 rem	10 rem
États-Unis (dose projetée, individu critique, centre du nuage)	0,5-5 rem	1-5 rem	5 rem (enfants) 10 rem (adultes 19-40 ans) 500 rem (adultes > 40 ans)
Belgique (dose projetée après mise à l'abri, individu critique, centre du nuage)	0,5-1,5 rem 1 jour	0,5-1,5 rem 2 semaines	5 rem
Angleterre (dose projetée)	0,3-3 rem (oe) 3-30 (thyr, peau)	3-30 rem (oe) 30-300 (thyr-peau)	3-30
Québec 1999-2002 (dose projetée, individu critique, centre du nuage)	0,6 rem 1 jour	1 rem 1 jour	10 rem
Québec, 2002- (dose projetée, individu critique, centre du nuage)	0,5 rem durée d'application de la mesure	1 rem durée d'application de la mesure	5 rem

Sources : Santé Canada 2001 ; US-FDA (2001) ; Régie régionale (2002)

ANNEXE 3 : Synthèse des lignes directrices pour l'utilisation des comprimés d'iode stable en cas d'accident à la centrale nucléaire GENTILLY 2

1 PERTINENCE DE LA MESURE

Considérant :

i les résultats des études épidémiologiques suite à l'accident de Tchernobyl démontrant l'incidence significativement élevée des cancers à la thyroïde suite à l'exposition à l'iode radioactif, particulièrement chez les enfants ;

ii la présence attendue d'iode radioactif advenant un accident avec rejets dans l'environnement à la centrale Gentilly 2 ;

iii les recommandations des organismes internationaux reconnus à cet effet.

La prophylaxie à l'iode stable doit être incluse dans la planification des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2, en complément aux autres mesures de protection en phase précoce que sont la mise à l'abri, l'évacuation et les mesures de protection relatives à la chaîne alimentaire.

2 NIVEAU D'INTERVENTION ET GROUPES D'ÂGE VISÉS PAR LA MESURE – POPULATION GÉNÉRALE –

Considérant :

i que le niveau de mise en évidence de l'apparition des cancers chez les enfants suite à l'accident de Tchernobyl se situe à 5 rem à la thyroïde (à l'individu critique au centre du nuage) ;

ii qu'à un tel seuil, le bénéfice (cancers évités) généré par la prophylaxie pour une seule dose d'iode stable est supérieur au risque d'effets secondaires causés par la mesure chez les groupes de population suivants :

- ☑ fœtus (femmes enceintes),
- ☑ nouveau-nés (moins de 1 mois et femmes qui allaitent),
- ☑ enfants de 1 mois à 18 ans (seul ce groupe pourrait prendre plusieurs doses, à raison de une dose par jour, tout en maintenant un rapport risque-bénéfice positif)[41],
- ☑ adultes de 19 à 40 ans.

La prophylaxie à l'iode stable est prescrite pour la population susceptible de recevoir une dose égale ou supérieure à 5 rem (dose à la thyroïde, pour l'individu critique, au centre du nuage) pour les groupes d'âge ci-haut énumérés.

41. Rappelons que, dans la majorité des situations, une seule dose serait suffisante.

Considérant :

iii que le bénéfice généré par la prophylaxie avec une seule dose d'iode stable s'avère équivalent au risque d'effets secondaires causés par la mesure pour les adultes de plus de 40 ans ;

iv que l'exclusion d'un groupe d'âge pour lequel la mesure ne génère pas de risque indu pourrait avoir pour effet de causer un tort psychologique ou de l'angoisse au groupe d'âge exclu et de rendre beaucoup plus complexe la communication publique, la logistique et l'implantation de la mesure.

Il apparaît justifié d'offrir la prophylaxie à l'iode stable aux adultes de plus de 40 ans, pour une seule dose, au même niveau d'intervention de 5 rem (dose à la thyroïde, pour l'individu critique, au centre du nuage).

Considérant :

v les risques plus élevés de cancers de la thyroïde suite à l'exposition à l'iode radioactif pour le groupe d'âge des 18 ans et moins.

Les moyens requis devront être mis en œuvre afin de s'assurer que la mesure rejoint de façon prioritaire et optimale les jeunes de 18 ans et moins, les femmes enceintes (fœtus) et celles qui allaitent et que la population est bien informée de l'importance de la prophylaxie pour ces clientèles prioritaires.

Considérant :

vi les mandats légaux confiés au directeur de santé publique en matière d'information sur les risques et de protection de la santé publique ;

vii les responsabilités attribuées au directeur de santé publique dans le *Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2* (PMUNE-G2).

La recommandation de prise des comprimés d'iode stable par la population dans le contexte d'un accident à la centrale Gentilly 2 relève du directeur de santé publique[42].

3 NIVEAU D'INTERVENTION ET GROUPES D'ÂGE VISÉS PAR LA MESURE – PERSONNEL D'URGENCE[43]

Considérant :

i les risques d'exposition à l'iode radioactif du personnel d'urgence appelé à intervenir en zone contaminée suite à un accident ;

ii la pratique en vigueur au plan international, à l'effet de fournir une dose quotidienne d'iode stable pour tout travail en zone contaminée à l'iode radioactif.

---

42. Ce dernier verra à informer rapidement le directeur national de santé publique.

43. Notons que le personnel du Parc industriel et portuaire de Bécancour essentiel au maintien des installations industrielles qui ne peuvent être mises à l'arrêt de façon rapide entre dans la catégorie du personnel d'urgence.

La prophylaxie à l'iode stable doit être offerte quotidiennement au personnel d'urgence avant tout travail en zone contaminée à l'iode radioactif[44], tant qu'il y a une exposition jugée significative à l'iode radioactif.

Considérant :

i l'augmentation chez les adultes du risque d'effets secondaires suite à la prise de doses répétées d'iode stable, particulièrement pour ceux âgés de plus de 40 ans ;

ii la diminution importante de ce risque par l'évaluation médicale des contre-indications par détection des dysfonctions thyroïdiennes (hyperthyroïdie).

Le personnel d'urgence de plus de 40 ans devrait, préalablement à toute intervention d'urgence de plus d'une journée en zone contaminée à l'iode radioactif, avoir bénéficié d'une évaluation médicale permettant de certifier l'absence de contre-indications à la prise répétée d'iode stable.

Considérant :

i les difficultés liées à l'exclusion d'un groupe d'âge pour lequel une mesure ne génère pas de risques indus (difficultés liées à l'explication de l'exclusion, à la logistique, aux cas d'individus dont l'âge se situe sur la limite, etc.) ;

ii l'absence de risque lié à l'évaluation des dysfonctions thyroïdiennes.

Les travailleurs d'urgence de 19 à 40 ans pourraient eux aussi être soumis à l'évaluation médicale des contre-indications à la prise répétée d'iode stable.

Considérant :

i les mandats légaux confiés au directeur de santé publique en matière d'information sur les risques et de protection de la santé publique, incluant les intervenants d'urgence ;

ii les responsabilités attribuées au directeur de santé publique dans *le Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2* (PMUNE-G2).

La recommandation de prise des comprimés d'iode stable par les travailleurs d'urgence dans le contexte d'un accident à la centrale Gentilly 2 relève du directeur de santé publique.

---

44. En raison des possibilités d'exposition prolongée du personnel d'urgence, la prophylaxie à l'iode stable pour ce groupe n'est pas subordonnée à l'atteinte du niveau d'intervention de 5 rem. Les modalités de protection du personnel d'urgence sont précisées dans *les Lignes directrices sur la protection du personnel d'urgence dans le cadre du PMUNE-G2* (à paraître).

4 DOSAGE ET PRÉSENTATION

Considérant :

i les recommandations les plus récentes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS 1999).

Les dosages recommandés pour la prophylaxie à l'iode stable sont les suivants :

Nouveau-nés (naissance à 1 mois) :	***16 mg***
Enfants de 1 mois à 3 ans :	***32 mg***
Enfants de 3 à 12 ans :	***65 mg***
12 ans et plus :	***130 mg***
Femmes enceintes ou qui allaitent :	***130 mg***

Considérant :

ii la nécessité de fractionner un comprimé d'iode en 8 ou de le diluer dans un liquide pour obtenir le dosage requis pour un enfant ;

iii la facilité d'utilisation des emballages par alvéoles, en comparaison avec les emballages en bouteilles.

L'acquisition de comprimés facilement sécables, solubles et présentés dans un emballage facile d'utilisation devrait être envisagée à moyen terme.

5 ZONE DE PLANIFICATION POUR LA PROPHYLAXIE A L'IODE STABLE

Considérant :

i l'atteinte du niveau d'intervention pour la prophylaxie à l'iode stable à une distance de 6 km de la centrale Gentilly 2 dans le cas de l'accident de dimensionnement limite retenu[45].

La prophylaxie à l'iode stable devra être offerte à toute la population habitant dans un rayon de 6 km de la centrale Gentilly 2.

Considérant :

ii que la zone de planification d'urgence pour l'exposition au panache (ZPU-P) a été fixée à 8 km ;

iii que l'extension de la mise en application de la prophylaxie à l'iode stable de quelques kilomètres ne générerait pas de risque indu à la santé ;

iv les bénéfices d'une harmonisation des mesures dans la ZPU-P en termes de communication publique et d'organisation logistique.

La prophylaxie à l'iode stable devrait être offerte à l'ensemble de la population de la ZPU-P de 8 km.

---

45. L'accident de dimensionnement limite est défini dans la section 3 du présent document.

Considérant :

v la décision antérieurement prise de considérer dans le *Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2* (PMUNE-G2) les accidents sévères (décision appuyée sur les recommandations internationales) ;

vi la faible probabilité de survenue d'un accident sévère,

vii l'atteinte du niveau d'intervention pour la prophylaxie à l'iode stable à une distance de plus de 50 km pour le scénario d'accident sévère limite retenu dans le PMUNE-G2 ;

viii la tendance internationale à prévoir des stocks de comprimés à distribuer en cas d'accident sévère.

Les moyens d'accès à des stocks de comprimés pour la population comprise dans la zone où le niveau d'intervention pour la prophylaxie à l'iode stable serait atteint en cas d'accident sévère devraient faire l'objet d'une analyse tenant compte des impératifs de protection de la santé publique et d'une éventuelle mise en application. Parmi les moyens documentés, notons les ententes entre pays ou provinces et la constitution d'un inventaire centralisé ou décentralisé.

6 MODALITES D'APPLICATION DE LA PROPHYLAXIE A L'IODE STABLE DANS LA ZPU-P

Considérant :

i le lien critique entre l'efficacité de la prophylaxie à l'iode stable et le délai entre la prise des comprimés et l'exposition à l'iode radioactif (délai maximal de 4 h à 6 h pour maintenir une efficacité de plus de 50 %) ;

ii l'insistance des organismes internationaux et nationaux à l'effet de rendre la mesure disponible afin que les comprimés puissent être ingérés avant ou très rapidement suite à l'exposition ;

iii la démonstration de l'inefficacité de la distribution post-alerte dans sa forme actuelle (voir Corriveau et al.), 1991 et, par exemple les constats en France, en Belgique, et au Tennessee ;

iv la faible densité de population dans la ZPU-P de 8 km entourant la centrale nucléaire Gentilly 2 (environ 15 000 personnes) ;

v les expériences positives de prédistribution des comprimés à domicile documentées ailleurs dans le monde et l'absence d'impacts psychosociaux négatifs suite à ces opérations.

Les comprimés d'iode stable devront être mis à la disposition de la population visée par prédistribution dans les résidences privées, les écoles et les autres lieux publics.

Des réserves devront être prévues pour les populations en transit et les populations évacuées.

ANNEXE 4 : Concepts de base liés à la définition des niveaux d'intervention

Dose projetée, dose évitée, dose résiduelle

La **dose projetée** est celle qui est calculée sans tenir compte de mesures de protection pour une personne se trouvant exposée au nuage radioactif. De façon générale, à cause des phénomènes de dispersion du nuage et de dépôt des particules, les doses projetées sont inversement proportionnelles à la distance par rapport à la centrale. La **dose évitée** par une mesure de protection sera fonction de l'efficacité de cette mesure. Par exemple, une évacuation appliquée avant le passage d'un nuage radioactif, pourra éviter la totalité (100 %) de la dose projetée, alors que pour d'autres mesures, comme la mise à l'abri ou la prise de comprimés d'iode, l'efficacité (et donc la dose évitée) sera variable et dépendra de différents paramètres, dont la durée du passage du nuage ainsi que le délai entre l'arrivée du nuage et la mise à l'abri ou la prise d'un comprimé d'iode. La **dose résiduelle**, comme son nom l'indique, est celle reçue par une personne malgré l'application ou non de mesures de protection et est fonction de l'efficacité de ces dernières. Il est entendu que si aucune mesure n'est appliquée , la dose résiduelle est égale à la dose projetée alors qu'au contraire, si la mesure est totalement efficace (comme l'évacuation avant exposition), la dose résiduelle sera nulle. Les figures suivantes illustrent ces concepts.

Figure 9 : Dose projetée, dose évitée et dose résiduelle

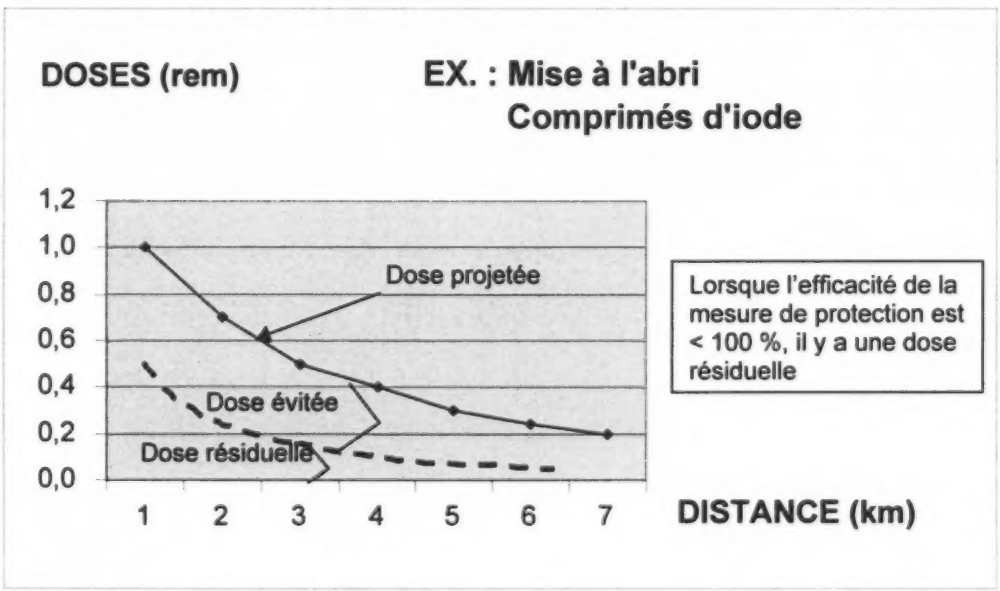


Figure 10 : Dose résiduelle en fonction d'une dose évitée égale à 100 %

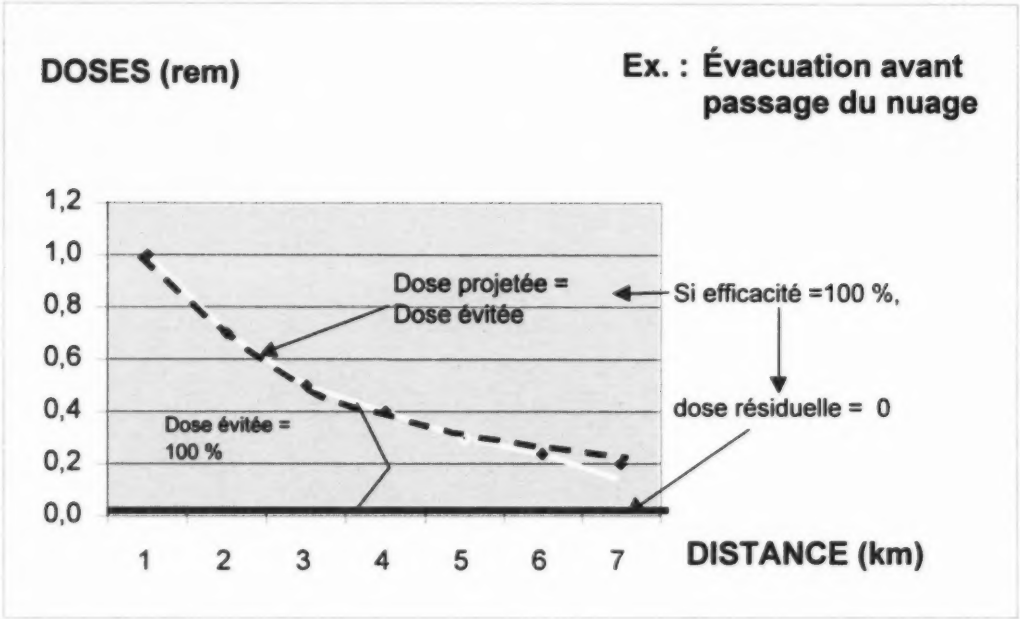
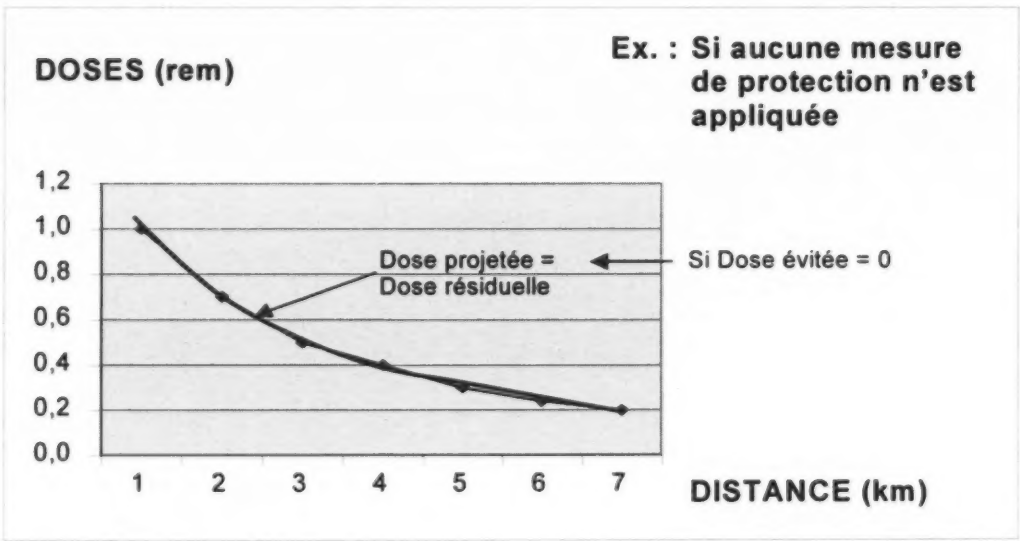


Figure 11 : Dose résiduelle en fonction d'une dose évitée nulle



Dose moyenne, dose au centre du nuage

Lorsqu'une population est exposée à des rejets radioactifs suite à un accident et que l'on calcule les doses qui peuvent en résulter pour la population, on considère par simplification que ces rejets prennent la forme d'un nuage, plus concentré en son centre et dont la dilution du contenu augmente selon la distance, dans la direction du vent et également en latéral, dans un axe perpendiculaire à la direction du vent. Les doses qui résulteront de l'exposition à ce nuage seront plus élevées au centre de celui-ci, tout en diminuant avec l'augmentation de la distance par rapport à la centrale. L'augmentation de la distance par rapport à la ligne centrale résultera également en des doses plus faibles. On parlera alors de « doses au centre du nuage »[46] et de « doses moyennes » pour l'ensemble du nuage, avec des facteurs de dilution qui nous permettent de passer de l'une à l'autre. La dose au centre du nuage sera utilisée pour les scénarios d'accident, conformément à la pratique internationale[47] (ISR, 2000).

Dose à l'individu critique et à l'individu moyen

Il est important de considérer que les enfants, en fonction d'une même exposition, reçoivent une dose plus élevée que les adultes en raison de paramètres biologiques différents (rythme respiratoire, surface corporelle, taille des organes). Les doses peuvent donc être calculées pour les jeunes enfants (que l'on appelle individu critique) et pour les adultes (individu moyen). De plus, en fonction d'une même dose, le risque pour les enfants (ex. : le risque de développer un cancer) est plus élevé que pour les adultes. Pour les accidents de dimensionnement, nous utiliserons l'individu critique (les enfants de 0-1 mois sans protection) pour le calcul des doses alors que pour les accidents sévères, les calculs seront faits en fonction de l'individu moyen (adulte), conformément à la pratique internationale[48].

---

46. Cette appellation n'est pas totalement exacte, car un nuage radioactif ne se disperse pas nécessairement de façon uniforme, mais plutôt en bouffées dans certaines conditions atmosphériques (ex. : lorsqu'il y a des précipitations sous forme de pluie ou de neige). Le terme « centre du nuage » (traduction du terme anglais *centerline*) désigne la ou les zones sous le panache où, à une distance donnée par rapport au point d'émission, les doses sont les plus élevées.

47. Information obtenue de la firme ISR, lors d'une présentation au COMUN, en 2000.

48. Pour les accidents sévères, l'utilisation des doses à l'individu moyen (adulte) est recommandée (IAEA, 1997 ; ISR, 2000), l'utilisation de l'individu critique résultant en une « planification ultraconservatrice » (ISR, 2000)

BIBLIOGRAPHIE

ATOMIC ENERGY OF CANAGA LIMITED (1988). *CANDU 600 probabilistic safety study*, AECL-9607.

BEAUCHAMP, André. (1996). *Gérer le risque, vaincre la peur*, Montréal: Bellarmin.

BRUCE, W.R., SHEMILT, L.W., STEWART, A.T., ROYAL SOCIETY OF CANADA & CANADIAN ACADEMY OG ENGINEERINF (1996). *Report to the Ministry of Environment and Energy concerning two technical matters in the Provincial Nuclear Emergency Plan*. Toronto.

CIPR/ICRP (1998). *The ICRP database of dose coefficients : workers and members of the public.*

COMMISSION DE CONTROLE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, GROUPE DES AVISEURS MEDICAUX (1992). GCM-2 *Lignes directrices sur les niveaux d'exposition aux rayonnements dans les situations d'urgence.*

COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE (1977). *Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique*, Publication CIPR 26.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1991). *Proceedings of international seminar on intervention levels and countermeasures for nuclear accidents,* Cadarache 7-11 octobre 1991.

DINGER, K. H. (2001). *Principles of Emergency Planning (overview). Planning for nuclear emergencies.* Harvard School of Public Health. August 14-17, 2001.

EVANS, K. (1993). *A graded response methodology to rapidly implement protective action recommendations based on new regulatory guidance.* Illinois Power, in *Proceedings, Fourth topical meeting on emergency preparedness and response.* April 25-28, 1993. Long Island.

FRÜHLING, J., SMEESTERS, P., VAN BLADEL, L. et WAMBERSIE (1998). A., *Accidents nucléaires et prophylaxie par l'iode,* Louvain Med. 117 : 338.

GARCEAU, M. (1996). *Présentation sur les Scénarios d'accidents du Rapport de sûreté Gentilly-2.* Hydro-Québec, Section Analyse, Trois-Rivières.

GRENIER, Gilles W. (2002), *Lignes directrices pour l'utilisation des comprimés d'iode stable à en cas d'accident à la centrale Gentilly 2,* 23 janvier 2002, Trois-Rivières.

GRENIER, Gilles W. (2002), *La protection du personnel d'urgence lors d'une urgence nucléaire. Lignes directrices.* Document de travail. Trois-Rivières.

Comité Interminintériel de la Sécurité Nucléaire , GROUPE NO. 3 SUR LA COORDINATION ET LA SYNTHÈSE DES MESURES DE RADIOACTIVITÉ EN SITUATION ACCIDENTELLE

(1998). *Rapport du Groupe de Travail No 3_sur la coordination et la synthèse des mesures de radioactivité en situation accidentelle*, , France.

GROUP OF MEDICAL ADVISERS TO THE ATOMIC ENERGY CONTROL BOARD (1995). *GMA-9, Guidelines on the use of stable iodine as a prophylactic measure during nuclear emergencies*. Ottawa.

GTMUN (1996a, mise à jour 1999). *Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2, Document de référence.*

GTMUN (1996b, mise à jour 1999). *Plan des mesures d'urgence nucléaire externe à la centrale Gentilly 2, Plan directeur.*

HYDRO-QUEBEC, CENTRALE NUCLEAIRE GENTILLY 2 (2001a). *Base technique pour la planification des mesures d'urgence externes à Gentilly 2, Rapport technique G2-RT-2001-09070-03 Rév. 0.*

HYDRO-QUEBEC, CENTRALE NUCLEAIRE GENTILLY 2 (2001b). *Base technique pour la planification des mesures d'urgence externes à Gentilly 2, Rapport technique G2-RT-2001-09070-03 Rév. 0.* Supplément relatif aux valeurs numériques.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1985). *Principles for establishing intervention levels for the protection of the public in the event of a nuclear accident or radiological emergency, Safety series #72.*

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1994). *Intervention criteria in a nuclear or radiation Emergency, Safety series # 109.*

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1997). *Method for the development of emergency response preparedness for nuclear or radiological accidents.* (IAEA TECDOC-953)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1999). *Generic assessment procedures for determining protective actions during a reactor accident* (IAEA-TECDOC-955).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1990). *Recommandations of the International commission on radiological protection*, ICRP Publication 60, Pergamon Press.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1998). *The ICRP Database of Dose Coefficients : Workers and Members of the Public, CD-ROM Version 1.0.*

INTERNATIONAL SAFETY RESEARCH (2002). *Consultant report on general guidelines for off-site emergency preparedness and response NUCLEAR*, Prepared for The Canadian Nuclear Safety Commission. ISR-R-1083-2 version 3.0.

INTERNATIONAL SAFETY RESEARCH, (2000). *Base technique et zones de planification pour l'intervention d'urgence en cas d'accident nucléaire. Une méthodologie utilisée pour la centrale nucléaire de Koeberg, République d'Afrique du Sud.*

LEFEBVRE, Luc (2000). *Guide pour la réalisation de conséquences sur la santé des accidents industriels majeurs et leurs communications au public, Document de travail*, Montréal.

PROVINCE OF ONTARIO (1999). *Province of Ontario nuclear emergency plan, Part I- Provincial Master Plan, Toronto.*

REGIE REGIONALE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DE LA MAURICIE ET DU CENTRE-DU-QUEBEC (2002). *Mission québécoise sur la prédistribution des comprimés d'iode et les mesures de protection du personnel d'urgence et de la population autour des centrales nucléaires françaises, du 11 au 24 septembre 2001, Rapport de mission.*

SANTE CANADA, DIRECTION GÉNÉRALE DE LA PROTECTION DE LA SANTÉ (2001). *Canadian Guidelines for Intervention Following a Nuclear Emergency, February 2001 Draft,* Otawa.

SANTE CANADA, DIRECTION GÉNÉRALE DE LA PROTECTION DE LA SANTÉ (1999). *Recommandations sur les coefficients de dose à utiliser pour évaluer les doses provenant de rejets accidentels de radionucléides dans l'environnement*, Ottawa.

SANTÉ CANADA ET COMMISSION DE CONTRÔLE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (1998). *Évaluation et gestion des risques de cancer associés aux rayonnements ionisants et aux agents chimiques*, Ministre, Travaux publics et services gouvernementaux.

STATISTIQUE CANADA, INSTITUT NATIONAL DU CANCER DU CANADA (2001). *Statistiques canadiennes sur le cancer 2001,* Toronto, Canada.

UNSCEAR (1993). *Sources and effects of ionising radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 1993. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes.

UNSCEAR (2000). *Sources and effects of ionising radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (2001). *Guidance Potassium Iodide as a Thyroid Blocking Agent in Radiation Emergencies*, Washington.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTIVE AGENCY, OFFICE OF RADIATION PROGRAMS (1992), *Manual of protective action guides and protective actions for nuclear incidents.* Washington.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION et FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (1980*). Criteria for preparation and evaluation of radiological emergency response plans and preparedness in support on nuclear power plants.*

U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION et U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (1978). *Planning basis for the development of state and local government radiological emergency response plans in support of light water nuclear power plants*, Washington.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, (1999). *Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents*, update 1999.